

과학적 이론과 모델의 관계에 대한 과학교육 연구자들의 이야기 - 포커스 그룹 토의 -

최진현 · 이종혁 · 이해경 · 유금복 · 김관영 · 전상학 · 이선경[†]

Narratives of Science Educators Concerning the Relationship between Theoretical Concepts and Modeling: Focus Group Discussions

Choi, Jinhyeon · Lee, Jong-Hyeok · Lee, Hyekeoung · Ryu, Kumbok ·
Kim, Kwan-Young · Jeon, Sang-Hak · Lee, Sun-Kyung[†]

국문 초록

본 연구에서는 과학교육 전문가 5인으로 구성된 포커스 그룹 토의(FGD)를 활용하여 모델 및 모델링에 관한 의미를 토의하는 과정에서 주요 주제로 다루어진 ‘모델과 이론의 관계’를 탐색하였다. 7회 수행된 FGD는 과학교육 연구에서 활발히 진행되고 있는 ‘모델 및 모델링’과 관련하여 ‘모델 혹은 모델링이란 무엇인가?’라는 질문을 출발로 하여 토의가 전개되었다. 토의 과정에서 이론과의 관계를 중심으로 모델 및 모델링에 관한 몇 가지 주요한 논제가 제기되었고, 본 연구는 그 논제를 중심으로 전개된 토의의 흐름을 추적하였다. 이 연구에서 주목한 것은 FGD에서 연구 참여자들의 이론과 모델의 관계에 대한 토의가 하나의 주장으로 수렴되지 않고, 그와 관련된 몇 가지 논제들이 새로 불거져 나오는 상황은 그 논제에 대한 기존의 개념을 탈바꿈하고 새로운 이해를 추구하는 시도로 이어졌다는 점에 있다. 연구 결과는 세 가지 논제, ‘모델 혹은 모델링이란 무엇인가?’, ‘모델과 이론의 관계는 어떠한가?’, ‘이론에 기반하지 않은 모델링은 가능한가?’를 포괄하며, 특히 모델과 이론의 관계는 1) 모델이 이론 연역적이고, 모델링이 이론을 현상에 적용하는 것으로 이해되는가, 2) 모델이 이론으로 귀납되는가, 3) 모델링이 특정 구조를 갖는 바탕 이론(경험적 지식의 틀)을 기반으로 출발하거나 혹은 바탕이론이 명시적으로 드러나지 않은 채 여러 가지 다른 자원들의 연결로 이해되는가로 토의되었다. 연구의 결과를 토대로, 과학철학과 과학교육, 그리고 과학교육 연구자와 과학교사 교육에 대한 함의가 제시되었다.

주제어: 과학적 모델, 모델링, 이론, 과학교육 연구자, 포커스 그룹 토의

ABSTRACT

In this study, the interplay between models and theories was explored through a series of focus group discussions (FGDs) involving five experts in science education. The FGDs were held seven times, beginning with the question of what is modeling in relation to models, which is a current area of research in science education. Throughout the discussion, several key issues regarding models and modeling were addressed, with a particular emphasis on their relationship to theory. A notable finding from this study is that the participants' discussions did not converge into a single viewpoint regarding the relationship between theory and models; instead, multiple related issues emerged, leading to attempts to reframe existing concepts and seek new understanding. The study findings relate to three main areas of inquiry: What is the meaning of models or modeling? What is the nature of the relationship between models and theories?, and Is modeling possible without a foundation in theory?

Particularly, the relationship between models and theories was discussed in reference to the following points: 1) Is a model to be understood as derived from theory, and is modeling the application of theory to phenomena? 2) Can a model be inferred from theory? 3) Does modeling originate from a specific, structured foundational theory (a framework of empirical knowledge), or is it to be understood through the integration of various resources without explicit reference to a foundational theory? Based on the study outcomes, implications are presented for philosophy of science and for researchers and educators working in the realm of science education.

Key words: scientific model, modeling, theory, science education researcher, focus group discussion

I. 서 론

미래세대를 위한 과학교육표준은 새로운 미래를 준비하기 위한 표준으로서 앞으로 과학교육이 나아가야 할 방향성을 제시하고, 미래 과학과 교육과정을 개발하는데 안내서로서 중요한 역할을 하는 문서이다. 우리나라 과학교육의 새 좌표를 제시하는 미래세대를 위한 과학교육표준에는 대표적으로 2013년에 개발된 미국의 차세대 과학교육표준(Next Generation Science Standards: NGSS)과 이에 영향을 받아 2019년에 우리나라에서 개발한 한국형 미래세대 과학교육표준(Korean Science Education Standards, KSES)이 있다. 이 두 문서가 공통으로 가지고 있는 특징 중 하나는 실제 과학자의 실천 행위(실천 혹은 실행, 이하 실행으로 통일하여 사용) 즉, 과학적 실행(scientific practice)을 강조하고 있다는 것이다. 과학적 실행은 기존 과학교육에서 꾸준히 강조해온 과학 탐구와 맥을 같이할 뿐만 아니라 탐구와 지식의 관계성을 더 확장한 개념이다. 이에, NGSS와 KSES에서는 기존과는 달리 탐구를 함축적인 명제로 정의하거나 단계적 절차로 제안하기보다는 여러 가지의 과학적 실행으로 표현하였다(송진웅 등, 2019; NGSS, 2013).

NGSS와 KSES에서 제시한 과학적 실행을 살펴보면 공통으로 모델링을 강조하고 있다. 과학교육에서 모델링 중심의 교수-학습은 학생들이 스스로 모델링을 해보는 학습 활동에 참여함으로써 과학자의 실행을 경험하고, 과학 개념을 이해하며, 과학의 본성에 대한 이해도 증진할 수 있다고 보는 교육적 접근 방식이다(유연준과 오피석, 2016; Gobert & Pallant, 2004; Lehrer *et al.*, 2008). 이러한 모델링 중심의 교수-학습에서는 학생들이 직접 모델링에 참여하여 자연 현상을 묘사, 설명, 그리고 예측하는 것을 목적으로 한다. 이에 모델링 중심의 교수-학습에서는 학생들이 그림이나 글을 통해 자연 현상에 대한 설명을 스스로 모델링하고, 모델의 구성-평가-수정(Genera-

tion-Evaluation-Modification cycle)을 통해(Halloun, 2006; Hestenes, 1987; Lopes & Costa, 2007) 자연 현상에 대한 설명을 발달시켜, 궁극적으로 과학적인 목표 모델(target model)에 접근해 갈 수 있도록 수업을 구성한다(이차은과 김희백, 2016; Rea-Ramirez *et al.*, 2008). 이렇듯 모델링 중심 교수-학습은 학습자가 모델링 과정에 직접 참여함으로써 실제 과학적 실행을 직간접적으로 체험할 수 있다는 점에 교육의 핵심적 가치를 둔다(오피석, 2017).

모델링 중심 과학교육 연구는 학습자의 모델링 활동 그 자체에서 작동하는 정신모델(Greca & Moreira, 2000)로부터 분산인지 관점의 해석(오피석, 2017; Aurigemma *et al.*, 2013; Chandrasekharan & Nersessian, 2015; Liu *et al.*, 2008; Nersessian, 2006, 2008; Nersessian & Patton, 2009)으로 그 외연을 넓혀왔다. 구체적으로, 모델링 활동에서 나타나는 사회적 관계를 드러내고 공동체적 협력을 강조하면서, 사회적 상호작용(Clement, 2008; Gilbert *et al.*, 2000; Passmore *et al.*, 2009; Radinsky *et al.*, 2010)과 사회적 공동구성(유희원 등, 2012) 등을 포괄하였다. 더 나아가, 모델링을 활성화하기 위한 모델의 발달 및 추론 과정의 탐색(고민석과 양일호, 2013; 이신영 등, 2012), 비유 수준과 불확실성 예측(고민석과 양일호, 2013), 공동생성적 대화(김지윤 등, 2016)와 같은 다양한 교육적 시도를 개발·수행하고 평가하기도 하였다. 또한 학생의 학습과 관련된 논제와 더불어, 교육자로서 예비 및 현직교사의 모델링에 대한 이해와 실천(윤혜경, 2011; Nelson & Davis, 2012; Oh & Oh, 2011; Schwarz, 2009; Windschitl & Thompson, 2006) 그리고 교사 학습공동체 참여(심수연, 2020) 등도 연구되었다.

이처럼 모델링 기반의 과학교육 연구가 활발히 이루어지고 있는 한편, 모델의 정의와 용어 사용에 혼선이 존재하며 용어가 맥락에 따라 다의성을 갖는다는 비판이 제기된 바 있다(정용욱, 2014; Gilbert *et al.*, 2000; Halloun, 2006). 모델이 무엇인지, 그리고

모델이 과학에서 갖는 역할과 기능이 무엇인지에 대한 논의는 과학철학 영역에서 오래전부터 논의되어 온 중요한 논제 중 하나이다. 특히, 지난 50년 동안 이론의 의미론적 관점은 모델과 이론에 대한 정통적 관점이 되어(Frigg, 2006) 과학에서 모델의 의미와 역할이 크게 재조명되었으며, 이러한 흐름 속에서 모델의 정의와 기능이 학자들마다 조금씩 다르게 정의되고 해석되고 있다(Giere, 1988; Morgan & Morrison, 1999). 모델의 다의성은 과학교육에서 원리, 법칙, 이론 등과 같이 과학지식의 구조를 이루는 개별 지식을 지칭할 때 관습적으로 사용해왔던 다른 용어들과도 혼선을 가져온다.

(1) 과학자들은 현상에 대해 이론을 만든다. 개인적 이론은 내면적이고, 특유하며, 불완전하고 본질적으로는 기능적이다. 이와는 대조적으로 ... 과학적 이론은 그것이 나타내고자 하는 현상과 특정 측면이 유사한 명시적 표상이다. ... 모든 이론에는 근사와 가정이 포함되기 때문에 그 한계를 아는 것이 매우 중요하다.

(2) 과학자들은 현상에 대해 정신모델과 개념 모델을 만든다. 정신모델은 내면적이고, 특유하며, 불완전하고 본질적으로는 기능적이다. 이와는 대조적으로 ... 개념모델은 그것이 나타내고자 하는 현상과 특정 측면이 유사한 명시적 표상이다. ... 모든 모델에는 근사와 가정이 포함되기 때문에 그 한계를 아는 것이 매우 중요하다.

위의 두 인용문 중에서 인용문(1)은 미국의 과학교육표준의 개념체계를 제공한 연구(National Research Council, 2012, p.56)가 과학에서의 모델에 관해 제시한 문구(인용문 (2))에서 모델을 이론으로 치환한 것이다. ‘모델’ 대신 ‘이론’이라는 용어를 사용하여 기술하였는데도 그다지 어색하게 읽히지 않는다면, 과학교육 연구와 과학과 교육과정에서 모델 및 모델링이 강조되고 그 교육적 위상이 더 높아지는 현시점에서 ‘모델이 무엇인가? 이론과는 어떤 관계가 있는가?’를 되묻지 않을 수 없다. 일견, 모델이 사용되는 맥락이 이론과 차별화되지 않아 이론과는 구별되는 모델만의 특성이 잘 드러나지 않는다고도 볼 수 있다. 물론 모델의 다의성을 이해하기 위한 방안으로 맥락에 따라 여러 유형(예, 스케일, 아날로그, 수학적, 비유적)으로 분류하여 모델의 다양한 기능적

차원을 설명해 왔다(Chamizo, 2013; Oh & Oh, 2011). 하지만 모델의 기능적 차원과 달리 과학자 활동에서 모델의 성격과 위상을 파악하기 위해서는 오랫동안 과학 활동의 중심을 차지해 온 이론과의 관계를 중심으로 심층적이고 집중적인 검토가 필요하다.

과학이론에 대한 지난 100년 동안 과학철학자들의 관점은 크게 두 가지로 살펴볼 수 있다. 하나는 20세기 초 논리 실증주의자들에 의해 제시된 구문론적 관점(syntactic view)이고, 또 다른 하나는 대안적인 관점으로서 Suppes, van Fraassen, 그리고 Giere 등에 의해 제시된 의미론적 관점(semantic view)이다. 전자는 과학이론을 보편적인 공리들의 체계로 보고, 모델은 이론이 참인 것을 보여줄 수 있는 특정한 구조를 제공하는 도구로서(Nagel, 1961) 이론을 구체적으로 증명하는 수단으로 간주되었다(Bailer-Jones, 2009; Frigg & Hartmann, 2009; Morgan & Morrison, 1999). 반면, 후자는 모델을 실세계와 동형이거나 유사하다고 보며, 과학이론을 모델들, 그리고 모델과 실세계를 연결하는 가설들의 집합으로 간주한다. 여기서 과학자들이 하는 일은 특정 맥락에 놓인 현상(사건)을 해석하고 이해하기 위해 모델을 구성하는 것이며, 모델(들)을 통해 이론을 의미화할 수 있다고 본다. 이론 자체는 현상을 설명할 수 없으며, 실세계의 일부를 이해하기 위한 다양한 모델(들)을 구성하며, 이 모델들을 통해 이론의 의미가 만들어지는 것이다.

구문론적 관점에서 의미론적 관점으로의 전환은 과학자들의 실행에서 모델의 편재성(ubiquity)이 널리 인정되고 모델의 위상과 역할의 변화를 가져왔지만(이종봉, 2018), 모델과 이론과 관계는 더욱 모호해졌다. 구문론적 관점에서 모델은 이론으로부터 연역된 명제들의 목록으로 보아 그 관계가 분명하게 이해된 반면, 의미론적 관점에서 모델은 하위이론으로 간주되어(Giere *et al.*, 2006; Nersessian, 1999; Oh & Oh, 2011; Windschitl & Thompson, 2006) 이론과 모델의 경계와 속성이 더 애매해진 것이다(Frigg, 2006; Pierson & Clark, 2019). 단지 이론은 추상적이고 현상을 직접 설명하지 못하는 반면, 모델은 구체적 현상을 설명한다는 점에서 이론과 분명히 다른 위상을 갖지만, 모델을 하위 이론으로 간주할 때 이론과 모델은 위계적으로 연결된다. 또, 일부 과학철학자 및 교육자들은 이론으로부터 거리를 둔 모델의 자율성을 주장하기도 하지만(예, Morgan & Mor-

rison, 1999; Gilbert & Justi, 2016), 여전히 이론과 모델의 관계는 합의에 이르지 못하고 있다. 그럼에도 불구하고 대부분의 모델-기반 과학 교수학습 연구에서는 이론과 모델의 관계에 관한 논의는 건너뛴 채, 지식 생성을 위한 교수학습 전략으로서 모델 및 모델링의 교육적 효과에 관심이 집중되어 있다.

이에 모델과 이론의 관계를 논하는 것으로부터 모델과 이론의 성격과 위상을 다시 재고할 필요성이 제기된다(Frigg, 2006; Pierson & Clark, 2019). 그 논의는 저작물이나 논문의 비판적 검토를 통해 접근하는 것이 연구의 필수적인 과정이 되겠지만, 과학교육 연구자로서 모델 및 모델링 영역의 연구를 막 시작하는 과정에서 모델 및 모델링을 어떻게 의미화(체화)하는지를 따라가는 것은 연구를 주재하는 과학교육 연구자에게 매우 중요한 과정이다. 모델 및 모델링 관련 연구를 문헌과 동료 연구로부터 간접적으로 접하긴 하였지만 실제 연구 수행에 있어서는 주도적인 역할과 경험이 없는 과학교육 연구자들이 모델의 의미를 어떻게 형성하는지, 특히 이론과 관계를 어떻게 의미화하는지는 결국 그들이 문헌 연구의 비판적 검토 혹은 수행하게 될 연구의 길에 방향타가 되고 연구의 인식론과 방법론에 영향을 미치게 될 것이기 때문이다. 그뿐 아니라, 그 토의의 상세함과 정밀함은 이와 유사한 고민과 문제의식을 가진 타 연구자들에게도 새로운 길을 열어줄 것이며 더 나아가 모델 중심의 과학교육 연구에 중요한 논제를 발굴하고 교육적 시사점을 제공할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 모델 관련 과학교육 연구를 수행하는 연구자들이 구체적으로 모델링은 무엇 인지를 출발로 하여 모델과 이론의 관계로 집중된 포커스 그룹 토의를 상세하게 탐색하고자 한다. 토의 과정에서 불거져 나온 논제는 무엇이며, 그 논제에 대한 연구 참여자들의 토의 내용과 형식이 과학교육 연구 및 교육에 어떤 함의를 줄 수 있는지도 함께 다루게 될 것이다.

II. 연구 방법

1. 포커스 그룹 토의(Focus Group Discussion, FGD)

과학적 실행에서 이론과 모델의 관계에 대한 과

학교육 연구자 집단의 이해를 탐색하기 위하여, 본 연구에서는 FGD 방법을 사용하였다. FGD 연구방법은 기존의 질적 또는 양적 자료수집방법으로 얻을 수 없는 자료를 확보할 수 있는 유용한 연구방법이다(이가옥과 장묘옥, 1993). FGD는 통상 6명에서 12명의 인원이 모여 어떠한 특정 주제나 현상에 대한 정보를 수집하고 서로의 반응을 공유하는 방식으로 이루어진다(김영석, 1999). 이처럼 집단을 통해 반응을 수집하는 방법은 개인의 반응을 개별적으로 수집하는 방법에 비해 서로의 견해에 자기 견해를 덧붙여가는 눈덩이 효과(snowball effect)로 전문가 집단의 보다 다각적이고 심층적인 의견과 이해가 수집될 수 있다(이조은, 2020). Focus Group 연구는 면담(Interview, FGI)과 토의(Discussion, FGD)의 두 가지 방법이 있는데, FGI는 틀과 질문의 형식이 비교적 구조화되어 있어서 특정 쟁점과 관련된 탐색적 성격을 지닌다(이선경과 황세영, 2012; Fontana & Frey, 2005). 그와 달리, FGD는 좁게 초점화된 주제를 다루어 참여자들이 주제에 대해 어떻게 이해하고 있는지를 깊게 다루고 참여자들 간의 상호작용적 대화를 포괄하는 방법론이다.

FGD는 FGI보다 집단 역동성을 많이 활용해 질적 자료를 수집하는 방법론이므로, 다루게 되는 토의주제는 좁게 초점이 맞추어져야 한다. FGD의 강점은 좁게 초점이 맞추어진 주제에 대하여 참여자가 활발하게 의견을 개진하게 하고 상호작용으로부터 자료를 수집할 수 있다는 데 있으므로, 집단 역동성을 활용한 상호간의 대화를 통하여 참여자의 참여수준을 높이고 참여자들로부터 자발적인 응답을 유도할 수 있다. 또한 집단의 반응은 일반적으로 개인의 반응보다 제약을 덜 받고 참여자들은 타인의 견해에 자신의 견해를 덧붙임으로써 대인적 상황에서 응답을 꺼리는 사람들도 집단 속에서 활발한 의견 표현을 할 수 있게 된다(김영석, 1999). 이처럼 FGD는 전문가 집단이 합의점을 찾아가는 과정으로 쟁점이 되거나 다양한 견해가 표출될 수 있는 논의에 대하여 보다 심층적인 의견 교환을 할 수 있는 연구 방법이다(김진국과 남상준, 2007).

2. 연구 참여자 및 FGD 진행

FGD의 참여자들은 과학교육학 박사학위 소지자 혹은 박사과정에 있는 연구자 5인이었다(Table 1). 연구 참여자 A, B, C는 교육학 박사학위 소지자로 화

Table 1. Information of participants

연구 참여자	전공	학위	실험 연구 분야	관심 연구 주제
A	과학교육(화학)	교육학 박사	-	과학개념, 탐구, 수업담화
B	과학교육(생물)	교육학 박사	신경발생학	과학실험, 탐구, 교사전문성
C	과학교육(화학)	교육학 박사	전기분석화학	과학영재교육, 내러티브 연구
D	과학교육(생물)	박사수료	-	교사전문성, 행위주체성
E	과학교육(생물)	박사과정	중앙생물학	학교실험교육, 탐구실험

학교교육(A, C) 또는 생물교육(B)을 전공하였다. 연구 참여자 D와 E는 생물교육을 전공하는 박사과정이었다. 이들은 모두 영재교육 또는 자유탐구와 관련된 프로젝트나 과제를 수행한 경험이 있다. 특히 연구 참여자 D는 소속 연구실에서 모델에 대한 기존 연구를 많이 접하였는데, 모델-기반의 교수학습 연구에 연구 보조원의 자격으로 수차례 참여한 바 있다. 또한, 연구 참여자 B, C, E는 석사과정 시절 이학 실험 논문을 작성한 경험이 있으며, 연구 참여자 E는 토의에 참여할 당시에 생명과학연구원에서 연구원으로 근무하고 있었다. 이들은 모두 5년 이상 25년 이하의 과학교육관련 경험을 가지고 있었으며, 모델 관련 연구 경험은 D를 제외하고 거의 없다고 할 수 있다.

FGD는 모델 중심 과학교육 연구 프로젝트의 초반에 연구진이 정기적으로 진행한 세미나의 일부로 수행되었다. 세미나는 2020년 7월부터 10월까지 약 3개월간 과학적 모델과 관련된 저서를 읽고 토의하는 것이 주된 목적이었다. 세미나는 상황에 따라 월 1~2회로 총 7회 차에 걸쳐 진행되었고, 1부와 2부로 나누어 실시했다. 세미나 1부는 회당 약 120분, 그리고 이어지는 2부는 회당 약 60분 기준으로 진행되었다(단, 3회차는 세미나 2부에 해당하는 토의만 진행함). 세미나 1부는 원활한 진행을 위해 참여자

가 순번을 갖고 해당 주제에 대한 발제와 질문거리를 던지고 토의를 하면서, 과학교육에서 모델 및 모델링에 관한 과학철학 및 과학교육 영역의 중요한 저작물(Table 2)을 기반으로 과학교육에의 의미를 추구하는 방식으로 진행되었다. 세미나 2부는 1부에서 다른 토의 내용과 별도로 ‘모델 혹은 모델링은 무엇인가’를 중심으로 하여 연구 참여자들이 자신이 생각하는 다양한 개념들을 검토하고 상호 비평적으로 의미를 형성하는 끝열린(open-ended) 방식의 FGD로 이루어졌다. 이 논문은 세미나 2부의 FGD에서 다른 연구 참여자들의 이야기에 관한 것이다.

FGD를 실시한 이유는 1회차 세미나 초반에 연구 참여자들의 모델에 대한 발화가 일의적이지 않고 다의적이어서 상호 이해에 혼동을 자초했기 때문이다. 그 이유는 세미나 1부에서 다른 저작물에서 모델의 의미를 철저하게 논하지 않아서가 아니라 역사적으로 과학적 모델의 의미가 변화를 거쳐 왔으며 현재에는 기능적 차원을 중요시하고 맥락적 활용을 강조하기 때문이기도 하다. 그와 유사하게 연구 참여자들도 세미나 주제를 발제하고 토론할 때 모델을 사용하고 이해하는 의미가 조금씩 달랐으며, 따라서 연구 참여자들은 토의에 늘 등장하는 용어인 ‘모델’을 어떤 의미로 이해하고 사용하는지 상호 검토할

Table 2. The information of seminar

회차	날짜	세미나 1부의 내용	연구 참여자
1	2020.07.31	Understanding Scientific Reasoning (Giere <i>et al.</i> , 2006) 1~2장, 현상과 도구(이상원, 2010) 1~3장	A, B, C, D, E
2	2020.08.07	Understanding Scientific Reasoning (Giere <i>et al.</i> , 2006) 3~4장	A, B, C, E
3	2020.08.14	-	A, C, D
4	2020.09.18	Understanding Scientific Reasoning (Giere <i>et al.</i> , 2006) 7장, Scientific Models in Philosophy of Science (Bailer-Jones, 2009) 2장	A, C, D, E
5	2020.10.09	Understanding Scientific Reasoning (Giere <i>et al.</i> , 2006) 9~10장, 현상과 도구(이상원, 2010) 4장, Scientific Models in Philosophy of Science (Bailer-Jones, 2009) 3~4장	A, C, E
6	2020.10.24	Scientific Models in Philosophy of Science (Bailer-Jones, 2009) 5장	A, B, C, E
7	2020.10.31	현상과 도구(이상원, 2010) 5장, Scientific Models in Philosophy of Science (Bailer-Jones, 2009) 6장	A, B, C, D, E

필요성이 제기되었다. 연구 참여자들은 토의를 하면서도 “그래서, 모델이 뭐지?”라는 의문을 늘 남겼으며, 그런 이유로 연구 참여자 A는 세미나 2부에서 모델과 관련된 이야기를 영역과 강도에 제한을 두지 않는 토의를 해볼 것을 제안했고 다른 연구 참여자들은 그 제안을 받아들였다.

FGD의 첫 질문은 ‘모델 혹은 모델링이란 무엇인가?’였고 그 열린 질문에 대한 연구 참여자들의 메모 작성(Fig. 1 참조)을 기반으로 하여 토의가 이루어졌다. 진행자로서 A는 열린 질문을 던지며 토의의 서문을 열었고 토의 과정에서 개입을 최소화하였으며, 연구 참여자들은 특정 순서를 갖지 않고 토의에 참여하였다. 토의는 연구 참여자들이 모델링의 의미를 각자 정의해보는 것으로부터 출발하여 상호 질문이나 관심 개념 등으로 자연스럽게 흘러갔으며, 토의의 맥락에 따라 논제가 모아지고 다시 새로운 논제로 옮겨가는 방식으로 흘러갔다. 연구 참여자들은 토의에 활발하게 참여하였고 진행자는 그 과정

에서 연구 참여자들의 발화가 충분히 일어나도록 안내하였다.

Table 3에서 살펴볼 수 있듯이, 토의의 주요 내용은 특정 주제가 개별적으로 토의되기보다 관련된 주제를 포괄하면서 이루어졌다. 또한 동일한 주제가 다른 관점과 내용에 대한 토의에서도 반복하여 재등장하고 논의되기도 하였다. 예를 들어, 모델과 이론의 관계에 관해서 2차부터 5차까지 꾸준히 다루어졌는데, 그 이유는 모델이 무엇인지를 설명하는 과정에서 이론과의 차이점을 규명하고자 했지만, 그 의미가 명확하게 정리되지 않아 여러 차례 지속적으로 반복하여 질문이 제기되었기 때문이다. FGD에서 모델 관련 개념들의 의미가 특정 시점에 정리되지 않고 반복 순환하여 지속적으로 불거지는 경향은 토의가 추상적인 차원에 머물고 있음을 보여주었다. 따라서, 토의를 좀 더 구체화하기 위해 7회차 FGD에서는 각 3분가량의 비디오 클립 두 개(Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 1997)를 시청하고 각 구체적 상황을 모델링으로 해석하는 시도를 하였다. 비디오 클립 #1에서는 ‘본다는 것’에 대하여 한 초등학생이 일상 경험(TV 시청, 토레 및 가정에서의 일상)을 동원하여 자신의 설명을 구성하는 것을 다루고 있으며, 비디오 클립 #2는 중학생들이 전기 회로에서 전구가 어떻게 켜지는가에 대한 논의를 진행한 내용이었다.

전반적으로 FGD의 형식은 일정한 틀이나 규칙 없이 진행되었고, 참여자들 간에 매우 허용적이고 비(非)평가적으로 이루어졌다. 참여자들은 동일한 내용이 반복되어도 상호 제지하지 않았으며 “일단 생각나는 대로 말해보자”라는 태도를 존중하였다. 토의의 허용적이고 비평가적 방식은 유사한 주제가 유동적으로 이루어지도록 하여, 토의 내용에 있어서 참여자간 발화의 상호 겹침과 조금씩의 차이를 발생시키고 발화의 연쇄로 새로운 발상을 열어가면서

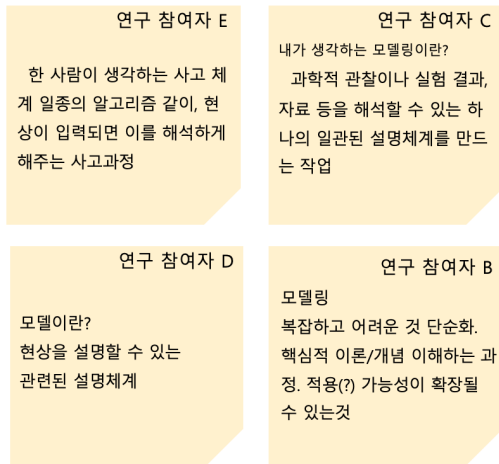


Fig. 1. A note of the ‘model & modeling’ considered by the participants

Table 3. The information of FGD

회차	날짜	FGD의 주요 내용	연구 참여자
1	2020.07.31	모델의 정의 / 모델과 개념 / 모델링, 비유	A, B, C, D, E
2	2020.08.07	모델과 이론 / 모델과 가설 / 표상의 의미	A, B, C, E
3	2020.08.14	현상의 창조 / 모델과 이론 / 실험의 의의	A, C, D
4	2020.09.18	모델과 이론 / 기계론적 모델 / 현대적 모델 / 과학연구에서 모델	A, C, D, E
5	2020.10.09	모델과 이론 / 과학자와 학생의 실험 / 실제와 실제 / 이론과 공리	A, C, E
6	2020.10.24	모델과 은유 / 과학연구에서 모델 / 생물학에서 모델	A, B, C, E
7	2020.10.31	은유 · 비유 / 모델의 형성 / 모델의 정의	A, B, C, D, E

토의를 깊고 상세하고 풍부하게 만들어주었다.

3. 자료 분석

본 연구에서 사용한 주요 자료는 7회에 걸친 FGD 내용을 전사한 자료이며, 토의 자료의 전사본은 A4 기준 127쪽 분량이었다. 기타 자료는 토의를 위해 작성하였거나 토의 중반에 발생한 메모 자료를 포함한다. 수집된 전 자료는 총 3단계로 나누어 분석되었다. 1단계는 초기 분석(preliminary analysis)으로서 합의된 틀 없이 연구 참여자들이 각자 전사본을 읽고 메모 자료를 참조하여 토의 주제와 주요 내용이 어떻게 흘러갔으며 그 과정에서 불거져 나온 문제들을 발췌하였고 상호 비교하였다. 구체적으로 각 회차의 토의 주제는 무엇이었는지, 논의 내용은 어떻게 흘러갔는지, 그리고 전 회차를 통과하여 지속적으로 제기된 주제는 무엇이며 연구 참여자 간 주제에 대한 상호구성적 과정은 어떤지를 큰 틀에서 검토하였다. 구체적으로 회차별 전사물을 연구 참여자 2인이 짝을 이루어 각자 분석하고 상호 검토하였다. 예를 들면, 1회차 토의 전사물은 A와 B가 개별 분석 후 상호 검토하고, 2회차 토의 전사물은 B와 C가 개별 분석 후 상호 검토하는 방식으로 진행하였다. 각 회차의 전사물에 대하여 짝을 이룬 연구자 2인의 개별 분석과 상호 검토가 이루어진 후에, 전체 연구 참여자에게 공유 및 검토하여 타당성을 확보하고자 하였다. 연구진은 1~7회차의 토의 전사본과 메모 기록의 의미를 충분히 이해하고 토의의 흐름과 세부 내용을 파악할 때까지 시간이나 횟수의 제한을 두지 않고 지속하였다.

2단계에서는 초기 분석 자료를 기반으로 주저자와 교신저자가 범주화 작업을 수행하였다. 주저자와 교신저자는 1단계의 분석 자료를 기반으로 ‘모델’에 관련된 주제들과 발화들을 모두 추출하고 시간의 흐름에 따라 재구성하여, 연구 참여자들의 모델에 대한 생각이 어떻게 변화하는지 살펴보고자 하였다. 연구자는 연구가 진행됨에 따라 모델에 대한 연구 참여자들의 생각의 변화 혹은 일관된 생각들을 발견하였고, 모델의 다양성을 보여줄 수 있는 장면들을 선별하고 기록해 두었다. 또한 시간의 흐름에 따라 토의 주제와 내용이 변화하는 양상을 보이는 것도 있었던 반면, 몇 가지 문제들은 반복적으로 제기되고 그 의미가 수렴하는 듯 했지만 다시 확장되는 측면이 보였다. 연구진은 반복되는 문제들에 집중하

여 3단계 분석에 들어갔다.

3단계에서는 앞에서 수행된 1, 2단계를 기반으로 토의 내용을 종합적이고 전반적으로 검토하면서, 계속 반복되어 등장하는 문제에 초점을 맞추어 그 토의 내용을 범주화하고 유목화하는 방식으로 결과를 기술하였다. 주저자가 주도적으로 토의 논제별 유목화와 해당 발췌문을 정리하고 배치한 후, 교신저자의 검토를 거쳤다. 연구 결과는 다시 모든 연구 참여자의 논의 및 확인 과정을 거쳐 타당성을 확보하였으며, 최종적으로 ‘모델 혹은 모델링은 무엇인가?’, ‘모델과 이론의 관계는 어떠한가?’, ‘이론에 기반하지 않은 모델링은 가능한가?’의 논제를 다루는 것으로 범주화되었다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 모델 혹은 모델링은 무엇인가?

FGD는 연구 참여자들이 생각하는 ‘모델링’은 무엇인지를 자유롭게 표현하는 것으로부터 출발했다. 진행하는 연구 참여자들에게 자신이 생각하는 ‘모델링’에 대한 생각을 메모지(Fig. 1 참조)에 적어보도록 요청하였고, 그 기록을 각자 읽고 설명해 가면서 토의를 열어 갔다(토의장면 #1). 연구 참여자들은 모델링이란 모델을 만들거나 최적화하는 등의 과정으로 표현하였으며, ‘사고체계’(연구 참여자 E), ‘설명자’(연구 참여자 D), ‘설명체계’(연구 참여자 C), ‘복잡하고 어려운 현상을 단순화시킨 것’(연구 참여자 B) 등의 용어를 사용하여 모델을 정의하고자 했다.

토의장면 #1. 모델링이란 무엇인가?

- 1 E 제가 생각한 모델링은 ‘한 사람이 생각하고 있는 사고체계로서 일종의 알고리즘이나 이런 것처럼 현상이 입력되면 이를 해석하기 위한 사고과정?’ 이런 것이라고 생각했어요.
- 2 D 제가 생각하는 모델은 ‘어떤 현상을 살펴봤을 때 개 [=그 현상]의 원리나 과학적인 그런 것들을 설명할 수 있는 하나의 현상과 가장 관련된 설명자’라고 생각했어요. 그게 모델이라고 생각했습니다.
- 3 C 제가 생각하는 모델링이란 ‘과학적 관찰이나 실험 결과, 자료 등을 해석할 수 있는 하나의 일관된 설명 체계를 만드는 작업’
- 4 B 복잡하고 어려운 현상 같은 것이 있을 때 단순화시킨 것. 이걸 모델이라고 생각을 했고 단순화한 것으로부터 개념이나 이론 같은 것들을 설명하려는 것. 이해하려는 것, 그 과정이 모델링이라고...

연구 참여자들은 모델 혹은 모델링에 초점을 맞추어 자신의 방식대로 모델링의 의미를 설명하였고, 이어지는 토의에서 ‘개념’, ‘이론’, ‘설명’, ‘지식’ 등의 용어를 사용하여 자신이 생각하는 모델의 의미를 보완하고자 했다. 그 결과, 모델에 관한 각자의 이해가 표면적으로는 유사해 보였으나, 모델을 설명하기 위해 끌어온 보충 용어들이 다양하여 각자의 생각을 비교하는 데 어려움이 있었다. 그래서 ‘개념’, ‘이론’, ‘설명’, ‘지식’ 등 모델을 설명하는 데 사용한 용어를 모두 ‘과학적 개념’으로 통칭한 뒤, ‘과학적 개념’과 ‘모델’을 비교하는 방식으로 서로의 생각을 정리해 보았다(Table 4).

Table 4는 연구 참여자들이 모델이 무엇인가를 설명하고자 할 때 개념, 이론, 설명, 지식 등과 같은 용어를 동원하는 데, 그 용어들을 대표하는 ‘개념’ 역시 추가로 설명을 요구한다는 것을 알 수 있다. 즉, 과학교육에서 ‘개념’은 정의 가능한 것으로 보는 고전적 관점, 원형(prototype) 관점, 본보기(exemplar) 관점, 원형과 본보기를 통합한 스키마 관점, 설명기반(이론기반) 관점에 이르기까지 그 스펙트럼이 넓기 때문이다(이선경, 2015). 또, 최근 행위자-네트워크 이론의 관점에서 ‘개념’은 ‘결절’(punctualization)된 상태의 이종네트워크로 새롭게 이해되기도 한다(정용재, 2020). 그럼에도 불구하고 공통적인 것은 연구 참여자들 모두는 ‘모델’을 정의할 때 ‘사고체계’ 혹은 ‘설명체계’와 같은 용어를 사용하며, 모델이 단순한 개념이나 지식의 합이 아니라는 것에는 생각을 함께했다. 하지만 토의를 거듭할수록 모델에 대한 설명이 연구자들 간에 교차하고 중첩되며 모델을 설명하는 용어와 관점이 더 다양해지고 다각적으로 움직여갔다. 모델이 ‘무엇’인지에 대한 설명은 1차 토의에서 집중적으로 시도되었지만 여전히 추상적이고 다의적이었으며, 차후 토의에서 모델, 지식, 이론, 개념 등이 거론될 때마다 “그래서 모델은 무엇이지?”

라는 첫 질문으로 다시 회귀하였다. 이처럼 질문이 거듭되는 양상은 모델이 무엇인지 깔끔하게 정의내리기 어렵기 때문인데, 그 이유는 연구 참여자들의 토의가 순조롭게 진행되지 못했기 보다는 모델의 의미가 복잡하고 다양하다는 점을 방증한다 하겠다.

이상과 같이, 연구 참여자들이 생각하는 모델의 의미는 유사한 듯 조금씩 달랐고, 한 연구 참여자에게서도 한 가지 의미가 아니라 상황에 따라 혹은 다른 개념과의 연관성에 따라 달라져 갔다. 따라서 이어지는 토의는 모델을 직접적으로 정의하기보다는 모델의 의미를 다각적으로 탐색하는 방향으로 자연스럽게 우회하게 되었다.

2. 모델과 이론의 관계는 어떠한가?

연구 참여자들은 1차 토의를 통해 각자가 생각하는 모델의 의미가 조금씩 다르다는 사실을 깨닫게 되었고, 자연스럽게 모델을 구성하는 자원(resources)과 모델과의 관계에 초점을 맞추게 되었다. ‘모델을 이루는 자원이 무엇인가?’라는 연구자의 질문에 연구 참여자들은 ‘개념’, ‘비유’, ‘이론’ 등을 언급하였다. 연구 참여자들은 자신이 언급한 자원을 활용하여 모델을 다시 정의하였는데, ‘개념’, ‘비유’ 등을 모델의 하위 층위로 구분하여 개념화한 것과는 달리 ‘이론’을 모델과 상호 구분이 명확하지 않은 것으로 보았다. 따라서 연구진은 ‘모델’과 ‘이론’을 구분하는 작업이 모델을 이해하는 데 핵심적인 역할을 할 것이라 기대하고 2차 토의에서 ‘모델과 이론의 관계’에 대한 심층적인 토의를 진행했다.

1) 모델과 이론의 귀납-연역의 순환 관계

2차 토의의 초반에, 연구 참여자들은 ‘이론과 모델’에 대한 생각을 자유롭게 적어보도록 요청받았고 각자의 생각을 자유롭게 표현하였다. 토의장면 #2는 모델과 이론의 관계에 대해 각자의 생각을 나누는 토

Table 4. Scientific concept and model defined by participants

연구 참여자	과학적 개념	모델
B	• 알려진 과학적 사실	• 개념의 합 그 이상의 것 • 보다 복잡한 현상을 설명하려는 체계
C	• 관찰, 데이터 등과 연관된 지식 그 자체	• 관찰, 데이터 등을 일관되게 해석할 수 있는 설명
D	• 레고 블록 하나 • 설명체계를 구성하는 더 작은 설명 • 모델에 비해 상대적으로 덜 체계적	• 레고 블록으로 만든 집 • 체계적인 형태 • 구성요소(개념) 간의 상호작용이 필수적
E	• 가치중립적인 특징이 있음	• 특정한 목적(수단)을 가지고 있는 것 같음

의에 해당한다. 연구 참여자 E와 B는 모델과 이론을 귀납적인 관계로 인식하였는데, “이론은 모델의 역사적 산물이다(E, 토의장면 #3-1)”라는 언급과 “현상을 단순화해서 설명하는 것이 모델이고, 모델이 확고해지면 이론이 된다(B, 토의장면 #3-5)”에서 볼 수 있다. 즉, 연구 참여자들의 이야기는 공통적으로 ‘현상 → 모델 → 이론’으로 이어지는 선형관계를 의미했다. 반면, 연구 참여자 C의 경우, 귀납적 상황과 연역적 상황을 나누어 모델과 이론의 관계를 고찰하였다. 귀납적 상황의 경우, 연구 참여자 E, B의 입장과 동일하게 “좀 더 추상화되고 보편화 돼가지고 이론으로 수립되는 측면이 있는 거 같다(토의장면 #3-4)”고 하였다. 반면, 연역적 상황의 경우, ‘이론으로부터 모델이 만들어지기도 한다’라고 말하였다. 이처럼 연구 참여자 E와 B는 모델과 이론의 위계적인 관계를 언급하고, 연구 참여자 C는 모델과 이론 관계를 양방향적으로 제시하고 있었다.

토의장면 #2. 모델과 이론의 관계

- 1 E 저는 이론과 모델에 대해서 ‘이론은 모델의 역사적 산물이다’라고 생각했어요. ... 과학교과서에서도 보면 예를 들어서 화학에서는 원자 모델, 돌턴의 원자설부터 해서 이렇게 쪽쪽 가가지고 현대모델까지 나가잖아요. 그게 실제로는 현대 원자설이 맞는 거지만 그 모델들에는 이유들이 다 있고 그 많은 모델들이 제시가 되고 계속 변형되고 발전돼가지고 하나의 모델로 굳혀진 것이 이론이 아닐까 생각을 했어요.
- 2 A 약간 상위의 개념인가요
- 3 E 예, 약간 상위의 개념처럼
- 4 C 예 저도 약간 비슷한데 약간 모델과 이론의 관계, 연역적인 상황과 귀납적인 상황을 둘 다 생각을 해봤는데, 썬보고 나니까 결국은 두 개의 구분이 명료하지 않다고 생각이 들더라고요. 어쨌든 귀납에서는 어떤 자연적인 현상이 있고, 리얼 월드(real world)겠죠? 이걸 어떻게 설명할 수 있을가를 구체적으로 수립을 한 설명체계가 모델이 될 것이고 E가 말씀하신 것처럼 이런 모델이 성공적으로 그런 비슷한 현상을 계속 설명해낼 수 있다면, 이게 좀 더 추상화되고 보편화 돼가지고 이론으로 수립되는 측면이 있는 거 같고, 반대로 연역적이라고 한다면, 이미 수립된 모델이 있어요, 원자론이 있으면 이 원자론으로 지금까지 설명되지 않았던 현상들이 있을 때 원자론을 바탕으로 원자론에 기반해가지고 어떤 특정 설명의 모델을 만들면 그 모델이 성공적이나 성공적이지 않느냐를 판단할 수 있는 근거가 되지 않느냐, 그래서 모델로부터 이론이 형성되기도 하고 이론으로부터 모델이 만들어지기도 하는 계속 순환구조가 있어서 ... 두 개가 뭔가 ‘닭이 먼저냐 달걀이 먼저냐’라는 순서 차이도 있는 것 같다 ...
- 5 B 저도 좀 비슷한 것 같아요. 현상을 단순화해서 설명하는 것이 모델이고, 모델이 확고해지면 이론이 되는 것 같아요.

지속적인 토의에서 연구 참여자들은 모델과 이론의 관계를 설명하기 위해 구체적인 사례를 동원하였다. 가령, 연구 참여자 B는 차(茶)를 우리는 확산 현상을 설명할 때, 현상과 관련된 개념(예: 원자, 온도 등)과 그렇지 않은 개념을 구분하고 현상과 관련된 개념을 서로 연결해주는 것이 이론의 역할이라고 설명했다.

“확산되는 현상이 있잖아요? 그거를 설명하고 싶은 모델을 구성할 때 원자 개념을 가져오고 그랬잖아요? 그 관련된 솔직히 말해서 다른 거, 정말 상관없는 개념도 있는데 개는 취하지 않고 관련 있는 원자 개념, 온도 이런 것만 가지고 오는 거는 개념을 이어주는 이론에 의해서 가지고 왔다고 생각을 해요.” (연구 참여자 B, 1차 토의 중)

모델과 이론의 귀납-연역의 관계는 ‘개념’, ‘이론’, ‘모델’의 관계망을 그림으로 나타내고 설명하기를 요청한(Fig. 2) 5차 토의에서 보다 선명하게 드러났다. 연구 참여자 C는 ‘뽕족뽕족한 현상을 단순화시킨 형태의 도형으로 그려낸 것’이 모델이며, 그러한 도형 중 하나로 ‘다양한 반지름을 가진 원’이 이론이라고 설명하였다. 즉, 이론(반지름이 r 인 원)이라는 추상적인 형태의 구체적인 하위 사례를 모델(반지름 1인 원)이라고 설명하며 이론으로부터 연역된 모델은 구체적인 현상을 설명해준다고 말하였다. 연구 참여자 E는 C의 그림을 기반으로 ‘뽕족뽕족한 현상을 중심에서 한번 그어보고, 또 다른 거리에 있는 현상을 그어봄으로써 원이라는 공통의 패턴을 발견하여 이론이 된다.’라고 설명하며 현상에 관한 모델들로부터 귀납된 이론을 말하기도 했다.

토의장면 #3. 현상, 모델, 이론의 관계

- 1 C 원이라는 개념이 있잖아요. 그러니까 어느 한 점으로부터 똑같은 거리만큼 떨어져 있는 것이니까 크기는 되게 다양하겠죠? 여러 가지 있을 수 있는데 지금이 뭔가 벌어진 왓지떨한 현상이 있어요. 근데 이런 뽕족뽕족한 부분들은 사실 별로 관심의 대상이 아니에요. 그래서 애를 그냥 한 점을 잡고 단순화시킨 형태의 도형으로 그려낸 것이 모델이다.
- 2 A 이론이 아니고요?
- 3 C 네. 왜냐하면 애[=모델]는 반지름이 정해져 있잖아요. 뭔가 애는 이거를 뭐 반지름 1인 원으로 보자. ‘그냥 단순화시키자’라고 가정한 것이 [반지름] 1인 이제 모델이고, 이제 2, 이게 뭐 1도 되고 10도 되고 크기는 다양한 형태의 원이라고 한다면 이 추상적인 원이라는 개념, 그게 이론의 형태가 되는 것이 아닌가? 단순화하자면, 그러니까 이론의 굉장히 구체적인 하위 사례가 모델

이라고 볼 수 있는 것이고 (후략)

- 4 A 이 뾰족뾰족한 게 일종의 현상인데, 그거를 ‘아, 이것은 반지름이 1인 원이야’라고 말하는 것이 모델이라는 거죠?
- 5 C 네네. 모델화한 거
- 6 A 그게 모델화한 건데 모델링이 나오게 된 기반은 원이라고 한다는 이론에서 나왔다는 거죠?
- 7 C 네. 원을 차용한 거지 사실은 이 뾰족뾰족한 것을 사각형이라는 도형으로 볼 수도 있지만 그것도 이제 사각형이라는 또 다른 이론이 있겠죠? 그래서 원으로도 볼 수 있고 사각형으로도 볼 수 있어서 다양한 형태의 모델은 가능 모델링은 가능한데
- ... 중략 ...
- 8 E 이것을 또 적용할 수도 있을 거 같아서, 그니까 뭐 관찰을 하면은 그냥 여기서부터 여기까지를 그냥 한 면을 찍어서 본거예요. 거리를. 그리고 이쪽에서도 한번 보고 아래쪽에서도 보고 그랬더니 ‘아 그냥 원일 것 같아’ 해서 하나의 모델을 만든 거죠. 그다음에 다음에 했을 땐 더 먼 거리를 찍게 되고 그랬더니 또 먼 거리인 게 또 있네 그래서 또 하나의 모델을 만들게 된 것. 그렇게 하다 보니까 다 원이네 해서 하나의 이론이 생성이 되는 거죠. 정수로 이렇게 표현될 수도 있을 것 같고, 그냥 요즘에 하는 과학자들이 하는 거는 저는 궁극적으로는 그냥 옛날과 동일하게 모든 진리를 탐구하는 것, 모든 현상을 다 이해하는 건데 욕심을 버린 게 아닐까하는 생각이 들어요. 그러니까 이제는 우리가 한번에 그걸 이해할 수는 없다는 것을 깨달아서 이제 애를 한 번에 이거를 원을 파악하는 거는 불가능하다 깨달아서 그냥 정말 정밀하게 하나하나씩, 0.01도씩 움직여보면서 다 찍어보는 거죠. 그런 과정이 ...

연구 참여자 모두는 ‘구체적인 현상을 잘 설명해주는 것은 이론이 아닌 모델’이라고 생각했으며, 전반적인 토의 내용으로서 모델과 이론의 귀납-연역의 순환 관계에 대해 어느 정도 동의가 이루어졌다.

2) 모델-이론의 ‘귀납-연역의 순환’ 틀 깨기

앞서 살펴본 것처럼, 모델과 이론의 관계를 귀납-연역의 순환으로 설명하는 것에 대해서 연구 참여자 간에 이견은 없는 듯 했으나, 지속되는 토의 속에서 둘의 관계에 대한 또 다른 고민이 여러 차례 드러났다. 토의장면 #4(1차 토의)에서는 모델이 구성될 때 활성화되는 것은 무엇인지에 집중되어 모델과 이론의 관계성을 따지게 되었고, 그에 따라 이론의 의미도 재검토되기 시작했다. 이때 모델이 이론에서 연역된다는 주장에 대해, “이론을 모를 때는 모델을 구성할 수 없는 건가?”(D, 토의장면 #4-1), “[과학적 이론을 잘 모르는] 초등학생은 모델링을 못하냐?”(A, 토의장면 #4-3)와 같은 질문, 다시 말해 ‘이론이 명시적으로 드러나지 않거나 없을 때는 모

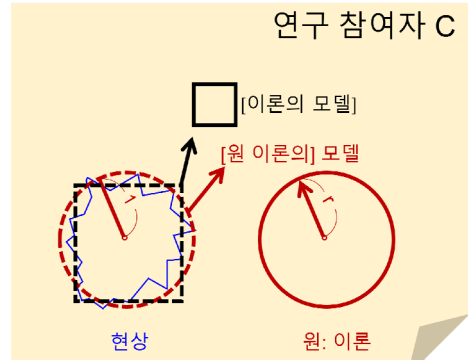


Fig. 2. A network of phenomena, models, and theories drawn by participant C



Fig. 3. A network of phenomena, models, and theories drawn by participant E

델링이 불가능한가?’라는 의문이 제기되었다. 이에 연구 참여자 C는 초등학생 수준에서 나름의 설명은 가능하겠지만, 과학적인 모델링은 아니라는 의견을 제시했다. 즉, 학생들은 그 현상에 대한 과학적 개념(예: 확산, 원자 개념 등)을 알지 못하기 때문에 그들이 만들어내는 모델은 과학적인 설명을 제공하지 못한다는 것이다. 따라서 C는 ‘과학적 모델’과 달리 개념이나 이론이 부재한 상태로 구성된 모델을 ‘귀여운 모델’(C, 토의장면 #4-6)이라고 구분하기도 했다.

토의장면 #4. 모델링에서 이론의 유무

- 1 D 그럼 이론을 모를 때는 모델을 구성할 수 없는 건가요?
- 2 B 근데 애들이 정말 현상을 모르는 애들한테 ‘애들이 이걸 봐, 수조에다가 잉크를 떨어트렸는데 확산이 돼’ 우리가 알고 있는 확산을 보여줬어요. 그럼 애들이 거기에 대해서 설명체계를 구성하는 것을, 저의 정의에 따르면 모델링이라고 할게요. 모델링을 할 거 아니에요. 그럼 애들은 뭐라고 할까요? 애들은 확산을 모르잖아요. 원자 개념을 모르는 초등학생들도 못 하잖아요.
- 3 A 초등학생들은 모델링을 못 하나요?

- 4 C 근데 그럼에도 불구하고 자기가 가지고 있는 개념 자체가 우리가 말하는 과학적 증명이 아니지만 ‘서로 친 구끼리 같이 노니깐 비슷해져요, 물이랑 잉크가 서로 만났더니 서로서로 비슷해지기 시작했어요. 애[=물]는 원래 투명했었는데 파래지고 애[=잉크]는 완전 새파랬는데 점점 색깔이 연해지고 친해진 거예요~’ 이것도 사실은 하나의 모델이라고 볼 수 있지 않나...
- 5 A 그거는 뭐라고 얘기해?
- 6 C 귀여운 모델! (모두 웃음) 과학적이지 않은 모델?

토의장면 #4에서 연구 참여자들은 학생의 모델을 과학자의 모델과 다르게 보는 데, 암묵적으로 그 구분 기준을 ‘이론 기반’에 두고 있다. 초등학생들은 확산 등의 과학적 개념을 알지 못해도 일종의 놀이를 통해 확산 현상을 접할 때 그 현상을 기술하는 것도 모델링이라고 볼 수 있지만, 과학적 이론으로 풀어나지 못하기 때문에 연구자 C는 ‘과학적이지 않은’의 의미로 ‘귀여운’ 모델이라는 명칭을 붙여준 것이다.

이처럼 연구 참여자들은 모델과 이론의 경계 기준을 탐색하는 토의를 이어나갔고, 그 과정에서 ‘모델’과 ‘이론’의 경계가 모호하다는 의견이 제기되기도 했다. 더 나아가, 연구 참여자 D는 “모형[=모델]과 이론이 나 자신이 똑같다고 생각하는데”(3차 토의)라고 의문을 던지며 극단적인 입장을 제시하기도 했다. 이어진 4차 토의에서 연구 참여자 C는 화학의 ‘이상기체 상태 방정식’을 예로 들며 ‘이론’과 ‘모델’의 구분이 존재론적이 아닌 상황의존적일 수도 있다는 의견을 제시하기도 했다.

“이상기체 상태 방정식이라는 결론을 도출하기 위해서는 운동량 보존법칙이라든지 뭐 압력 개념이라든지 이런 이론들이 들어가잖아요? 그렇게 해서 이상기체 상태 방정식이라는 식이 만들어졌어요. 근데 이제 이거는 이론이에요. 지금 제가 봤을 때는. 근데 이론이자 운동량 보존법칙과 입자 이론, 원자 이론과 이걸로 만들어진 모델이기도 해요, 제 입장에서는. 그러니까 이게 그러면은 이론과 모델의 구분이 그러면은 상황을 제시했을 때만 가능한 것일까?” (연구 참여자 C, 4차 토의 중)

연구 참여자들은 이론과 모델을 구분하고자 하는 시도를 이어나갔고, 그 과정에서 모델과 이론의 구분 기준 중 하나로 ‘수학화(mathematization)’가 제안되기도 했다. 이 기준에 대해, 연구 참여자 C는 화학의 ‘이상기체 상태 방정식’과 물리학의 ‘베르누이 방정식’을 생명과학의 ‘피식자-포식자 모델(로트카-볼테라 방정식)’ 사례와 비교하며, 모델이든 이론이든 어떤 용어를 사용해도 어색하게 느껴지지 않는

앞의 두 예와 달리, 피식자-포식자 모델의 경우에는 모델이 아닌 이론이라는 용어를 쓰기에는 어색하다고 말하며 ‘수학화’가 구분 기준이 되기 어려운 것 같다는 의견을 말하기도 했다(토의장면 #5-3).

토의장면 #5. 모델과 이론의 구분 기준

- 1 C 수식화되어 있지만 이론이 아니라 모델이라고 불란 한 게 뭐가 있을까? 피식자-포식자 모델 수학적 있잖아요. 방정식 같은 거 그렇죠? 뭐 베르누이 방정식 같은 것도 방정식이어야 하는데 그것도 사실 어떻게 보면 이론이기도 하고. 근데 피식자-포식자 모델은 그걸 피식자-포식자 이론이라고 부르기에는 너무 협소하지 않나 하는 생각이 드는데 제약조건들이 또 많잖아요. 그니까 똑같은 수식이라 하더라도 추상화된 정도에 따라서만 모델-이론이 구분된다고 보다는 보편성의 측면으로 봐야... 뭐 제한조건에 따라서 좀 달라지는 건지.
- 2 E 그 구분이 그니까 이상기체 방정식은 진짜 이론이라고 하는데 피식자-포식자는 이론이라 안 하잖아요. 이론이라고 하는데도 있나? 근데 생각했을 때 제한하는 거는 어쨌건 개체수가 그 두 개밖에 없다, 그리고 그 자원이 뭐 어느 공간에 딱 한정되어져 있다, 약간 이런 식으로 밖에 없을 것 같은데 그것도 어떻게 보면 이상기체 방정식도 충돌했을 때는 에너지 손실이 없다.
... (중략) ...
- 3 C 수식으로 나타낼 수 있고, 둘 다 제한조건이 있는데 이상기체 상태 방정식은 이론이라고 부르는 게 거리낌 없지만은 피식자-포식자 모델은 피식자-포식자 이론이라고 부르기에는 거리낌이 있는 거...

이처럼 모델과 이론을 구분하려는 시도는 연구 전반에 걸쳐 지속적으로 이어졌으며, 이를 통해 모델뿐 아니라 이론이 무엇인지 탐색하는 과정도 계속되었다. 이때 연구 참여자들이 모델과 이론의 의미를 규명하려는 시도는 ‘모델로부터 이론이 귀납된다’거나 ‘이론으로부터 모델이 연역된다’는 등 모델과 이론의 관계가 귀납-연역의 순환으로 정립되는 듯 했다. 그러나 학생의 모델이 과학적인 이론에 기반하지 않는다는 뜻에서 ‘귀여운 모델’이라는 명칭을 부여함으로써, 모델이기는 하지만 과학자의 모델과는 구분해야 한다는 점이 제시되기도 하였다. 이처럼 모델과 이론을 관계 짓고 구분하려는 시도는 전반적으로 ‘모델과 이론은 귀납적이든 연역적이든 반드시 연결된다’라는 전제에 기반한다고 보았으나, 학생의 모델에 대한 이야기가 전개되면서 그 전제에서 일부 후퇴하는 양상을 보였다. 그와 더불어, ‘수학화’도 모델과 이론의 구분 기준으로 제안되었으나 물리, 화학, 생물 등의 예시를 통해 여러 맥락에 일관적으로 적용되기 어려운 점이 검토되었다.

3. 이론에 기반하지 않은 모델링은 가능한가?

앞 절에서 학생의 모델과 과학자의 모델을 구분하면서 제기된 ‘이론에 기반하지 않은 모델링의 가능성’은 토의의 전면에서 다시 등장했다. 연구 참여자 D가 생명과학의 ‘혈액순환 모델’을 예로 들며, 혈액순환 모델의 기반이 되는 이론이 존재하는지에 관해 의문을 제기하면서 촉발되었다.

“제가 생각해봤을 때 생물에서 모델이라는 말을 제일 많이 쓰는 게 생리학에서 메커니즘 설명하는데 모델이라는 말 진짜 많이 쓰거든요. 혈액순환 모델, 뭐 그런 식으로 모델이란 말을 진짜 많이 써요. 근데 분명히 모델이면은 제가 생각한 거는 혈액순환 모델의 기반이 된 혈액순환 이론은 뭘까? 그니까 혈액순환 모델이 있는데 그럼 그거보다 좀 탈맥락화된 이론은 뭘까? 라는 생각이 저는 들죠” (연구 참여자 D, 4차 토의 중)

1) 과학자의 모델링과 이론의 관계

연구 참여자 E는 4차 토의에서 자신의 구체적인 연구 사례를 언급하며 ‘이론에 기반하지 않은 모델링’의 가능성을 제기하였다. 그는 과학자의 모델링이 이론에 기반하여 이루어진다고보다는 기존에 많이 보고된 ‘현상’에 기반한 숙련을 통해 이루어지는 것 같다고 말하며, 특히 실험 설계, 해석, 방법 등 실험의 측면에서 논거를 제시하였다(토의장면 #6). 이는 연구과정에서 지배적인 가설이나 이론이 등장하지 않아도 연구자의 경험, 연구자가 동원 가능할 수 있는 자원, 자의적인 판단 등을 종합해서 주어진 현상을 해석하기 위해 일단 해보는 과정이 이루어지고 있음을 의미한다. 연구 참여자 E의 이러한 생각은 다른 연구 참여자로 하여금 ‘이론에 기반하지 않은 모델링’의 가능성에 대한 사고를 촉발하였다. 연구 참여자 B는 형광 현미경을 사용하여 유전자의 발현을 관찰하는 자신의 실험 경험을 예로 들며 ‘신호’와 ‘배경’을 구별하는 기준이 이론에 기반하기보다는 자의적인 선택에 가까웠다는 점을 언급하며 E의 생각에 동조했다.

토의장면 #6. 과학 실험에서 이론에 기반하지 않은 모델링

1 E 제가 연구하는 거는, 그냥 간단하게 설명드리면, 저희는 일단 빅 데이터를 기반으로 해서 특정 암에서 과발현돼있는 유전자를 하나 찾았어요. 그리고 그거를 실제로 암으로서 유의미한지, 암으로서 작용을 하는지를 확인하려고 그 유전자를 없애보거나 아니면 과발현시켜서

전형적인 실험들을 수행했어요. 그리고 더 증식에 도움이 된다든가 아니면 세포 이동에 도움이 된다든가 그러니까 이런 식의 실험들을 많이 했고 (중략) 그다음에 저희가 생각하는 건데 그래서 그냥 대중적으로 알려져 있는 유명한 pathway (신호 전달 경로)에 단백질의 다른 양을 똑같이 보기도 해요. 그니까 그게 이 유전자를 조절했을 때, 그 대표적인 유전자가 양이 변하는가 이런 것들을 다 쫓아봐요. 그래서 이게 변하면 이거에 의해서 암이 조절된다 그걸 하는 거죠. 기존의 그 pathway에 대해서는 사람들이 많이 밝혀냈으니까 기존의 어떤 논문들을 레퍼런스 삼아서 ‘애는 그걸 조절하니까 증가되는 게 맞다’. 이런 식으로 보통 많이 [해석]하죠.

2 A 그럼 거기서 선생님이 모델링이라고 말할 수 있는 건 뭐예요?

3 E 모델링이라는 게 아예 그냥 큰 틀에서는 뭐 ‘이 유전자가 암을 조절한다.’ 이렇게 정말 리프하게 얘기하거나, 아니면 내가 실험을 할 때 뭐 ‘이 조건에서 내가 애를 낮출 때 이게 어떻게 변화될까.’ 이렇게 세부적인 거는 되는데...

... (중략) ...

4 E 특히 실험 같은 것은 그렇죠. (중략) 테크닉을 배우거나 어떤 식으로 흘러가지를 배우면 충분히 연구를 할 수 있단 말이에요. 물론 그 막 그때 배웠던 다양한 교과에서 지시받은 아이들이 ‘이렇게 돼서 이렇게 되는구나’를 좀 더 파악할 수는 있지만 그거는 [이론과] 직접적으로 연관 없다 말이에요. 그런 걸 보면, 약간 이론을 몰라도 현상만 배워서 모델링이 충분히 가능한 케이스가 있잖아요.

반면 연구 참여자 C는 ‘이론에 기반하지 않은 모델링’의 가능성에 대해 의구심을 나타냈다. 그는 실세계의 현상을 해석할 때 전제되는 원자론을 예로 들며 “[모델의] 기저에 깔려 있는 전제들을 우리들이 이론이라고 볼 수 있을까?”라는 질문을 던졌고 (4차 토의 중), “보편성을 가지고 우리가 ‘타당하다’라고 생각하는 그 믿음의 근거가 있어야 모델링이 가능하지 않느냐”(5차 토의 중)라고 말하며, 모델링 과정에는 이론이 반드시 필요하다는 생각을 밝혔다. 이후 그는 모델링에는 ‘과학적 이론’뿐만 아니라 과학적 이론이라고 부르기 어려운 선개념과 같은 “그들만의 이론”이라도 활용되어야 한다고 언급하며, 모델링 과정을 ‘이론을 꿰어 목걸이를 만드는 작업’에 비유하기도 했다.

“이론이 서 말이어도 꿰어야 보배대! (모두 웃음) 아무리 좋은 이론들이 많아도 결국은 경험 세계에서 우리가 그 이론들을 어떻게 꿰느냐에 따라서 그 목걸이 가치가 달라지듯이, 모델링이란 이제 그 이론들을 하나씩 엮어가지고 목걸이로 만드는 작업이고 (중략) 그 모델의 가치라는 것도 되게 다양한 형태로 가치가 있을 수 있을 것 같아요.” (연구 참여자 C, 5차 토의 중)

토의 과정에서 연구 참여자들이 주목한 과학 활동에서 모델링에 이룬 기반 여부의 논의는 ‘이론’의 가시성 혹은 직접적인 연관성을 포괄한다. 연구 참여자 E의 이론 기반하지 않은 과학 실험의 예는 과학적 이론과 같은 명시적 이론의 비가시성을 내포하며, 연구 참여자 C의 토의 내용은 가시적이든 비가시적이든 이론의 활용이 필수적으로 기반한다는 의미를 갖는다. 그에 따라, 토의 주제의 일부인 ‘모델이 무엇인지’와 더불어, ‘이론이 무엇인지’를 토의해야 할 필요성이 불거졌다. 이론이 단지 명제적인 것뿐 아니라 경험적인 것 혹은 그 이상의 직관적인 것까지 그 스펙트럼을 넓혀야 하는 것으로 여겨졌으며, 그렇게 하기 위해서는 구체적 상황(이후, 2개의 비디오 클립 시청)에서 이론을 검토하는 것으로 토의가 확장되었다.

2) 학생의 모델링과 이론의 관계

1차 토의 중, 이론과 모델의 관계를 논의하는 과정에서 학생들의 모델링은 과학자의 모델링과 다르다는 의견이 제시되었지만(토의장면 #4), 그와 관련하여 심층 토의가 이루어지지 않았다. 연구 참여자들이 본인의 연구 경험을 바탕으로 과학자의 모델링에 관해서는 구체적인 상황을 비교적 쉽게 제시한 것과는 달리, 학생들의 모델링에 관한 구체적인 상황과 예시를 떠올리기 어려워하여 토의가 피상적으로 진행했던 측면이 컸기 때문이다. 따라서 학생들의 모델링에 관한 토의를 깊이 있게 진행하기 위해서는 구체적인 상황이 제시될 필요가 있었다. 이에, 7차 토의에서는 특정 현상이나 상황에 대해 학생들이 과학적인 설명을 구성하는 사례 영상을 시청하고 그 문제 상황에서 학생들의 모델링을 해석하면서 ‘학생이 현상에 대해 설명한 것을 과학적 모델링으로 볼 수 있는가?’에 관한 토의를 진행했다.

연구 참여자들은 2개의 비디오 클립을 시청했는데, 그중 하나(비디오 클립 #1)는 초등학교 학생이 ‘본다는 것’에 대한 설명을 다룬 것이다(Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 1997). 비디오 클립 #1에 등장한 초등학교 학생은 시각이란 눈에서 빛을 방출하여 반사되는 빛을 감지되는 작용이라고 설명하였다. 학생은 설명 모델을 일상적 경험을 예로 들어 논증하였는데, 가령 어두운 곳에서 고양이의 눈이 빛나는 것, 빛을 방출하는 지느러미를 가진 물고기, 손전등 밝히는 것 등의 다양한 경험적 지식과 박쥐

가 초음파를 방출하고 되돌아오는 소리로 주변의 장애물을 인식한다는 사전 지식이 결합되어 시각과 관련된 모델을 구성한 것임을 알 수 있었다.

영상을 시청한 후, 연구 참여자들은 학생이 자신이 알고 있는 박쥐의 장애물 인식 원리를 바탕으로 ‘본다는 것’의 원리를 설명한 일종의 과학적 모델링 활동이라는 것에 모두 동의했다(토의장면 #7). 그리고 연구 참여자 C는 앞서 토의 장면 #4에서 학생의 모델을 ‘귀여운 모델’로 지칭하며 과학자의 모델과 구분했던 것과 달리, 전문적인 과학자들 또한 어느 정도 비과학적으로 보이는 모델링 활동을 일상적으로 행한다고 주장하며 모델링의 범위를 확장시키기도 했다. 즉, 모델링은 기존의 갖고 있는 인식들에서 출발하며, 비합리적인 근거에 기반하더라도 이미 알고 있는 것을 엮어내는 과정이 핵심이라는 것이다(토의장면 #7-3).

토의장면 #7. (비디오 클립 #1) 학생의 ‘본다는 것’의 모델링 사례

- 1 C 본다는 현상을 이제 어떻게 설명하느냐라는 일종의 그 개념들을 만들어야 되는데, 일관된 개념들. 그게 이제 모델이라고 보고, 그래서 그 모델은 ‘시각기관에서 전자 기관든 뭐가 방출돼서 되돌아오는 것을 인식한다’라는 모델, 이걸 모델로 생각을 한다. 이 모델을 기반으로 인간의 사례 검증, 박쥐의 사례 검증, 사실 검증이라고 하긴 좀 그렇지만 이 모델로 [학생이] TV에서 본 사례를 설명해 보는 거죠. 얼추 설명이 되는 것 같으니까 ‘괜찮은 모델이네?’ 그래서 ‘시각기관에서 방출되는 빛을 다시 이제 받아들이어서 인식한다.’ 이게 모델이 아닌가?
- 2 B 박쥐 체계를 비유로 들어서 사람이 보는 시각 과정 현상을 설명하려고 했던 거 같아요. ... 빛이 움직이는 것과 음파가 이동하는 것과는 서로 다른 거지만... 자기가 생각하는 본다는 현상을 설명하려고 모델링을 한게 아닐까?
... (중략) ...
- 3 C 근데 사실 이런 학생들이 어떻게 보면은 과학적으로 보면 조금 비합리적일 수 있지만은 나름대로 자기가 알고 있는 거를 막 엮어내려고 하는 작업들을 애들뿐만 아니라 사실은 우리도 마찬가지로 하고 있잖아요. 좀 처음 보는 현상이 있으면 뭐 이거를 우리가 어떻게 해석할 수 있을까 고민하는 것도 있을 텐데 처음에는 좀 말도 안 되게 이해를 하고 있다가...

이와 유사한 논의는 비디오 클립 #2(Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 1997) 시청 후의 토의에서도 발생했다. 영상 속 중등학교 학생들은 전기 회로에서 전구가 켜지는 이유에 관한 2개의 모델링, 즉 ‘전류가 전구 속에서 멈춰 있어야 불이 들어온다’(비디오 클립 #2, S2)라는 의견과 ‘전류가 전구 속에

서 멈추는 건 아니다'(비디오 클립 #2, S1)라는 해석에 대해 논쟁한다.

비디오 클립 #2. 전류가 전구 속에서 멈춰야 불이 들어와요. vs. 전류가 전구 속에서 멈추는 건 아니라고 생각해요.

- 1 S1: 전류가 전구 속으로 흐르던 건 분명해요. 한 곳으로 들어가서 다른 곳으로 나와요.
- 2 S2: 전구 속에서 전류가 멈춰 있죠. 그러니까 불이 들어오는 거죠.
- 3 T: 전류가 멈춰야 불이 들어온다는 거지?
- 4 S3: 어디에서 멈춘다는 거지? 맨 위에 선으로 된 부분?
- 5 S2: 음... 아니 계속 흐르긴 하지만 잠깐 쉬는... 아니 그보다...
- 6 S3: 진동한다는 건가?
- 7 S2: 원래 경로에서 벗어나 불을 밝히는 거라고 생각해요.
- 8 S3: 제 생각엔 한쪽으로 들어가서 위로 올라갔다 내려와서 나가는 것 같은데... 이진 단지 제 생각이예요.
- 9 S1: 전류가 전구 속에서 멈추는 건 아니라고 생각해요. 전구를 두 개 연결해도 둘 다 불이 들어오거든요. 전류가 멈추면 두 번째 전구엔 불이 들어올 수가 없죠.

비디오 클립 #2에 대한 토의를 진행하면서, 연구 참여자들은 '이론'에 대한 재고를 서로 요청했다. 연구 참여자 C는 학생들의 모델링이 과학 이론에 기반하지 않은 것 같다고 이야기하며, 과학자의 모델링과 학생의 모델링이 이론을 활용하는 양상에 차이가 있는 것 같다고 언급하였다(토의장면 #8-2). 이에 대해 연구 참여자 B는 '전류는 흐른다'라는 지식을 이론으로 볼 수 있을 것이라고 제안했고, 학생들의 모델링이 달랐음에도 그 기저에 깔린 전제는 '전류가 흐른다'라고 하는 동일한 이론이 작동하는 것으로 해석했다(토의장면 #8-7). 즉, '전류가 흐른다'라는 학생들에게 공유된 바탕이론(background theory)¹⁾과 함께 전류가 잠깐 쉬거나(비디오 클립#2-5) 혹은 경로에서 벗어나(비디오 클립#2-7)는 은유가 모델링에 관여하는 것으로 해석하였다.

토의장면 #8. 학생의 모델링에서 이론의 의미

- 1 C 예를 들어서 '전류가 이 전구 안에 갇혀있어야 불이

켜진다' 그래서 포획모델이라고 하죠. 전류포획모델. 그러면 이 전류포획모델이라는 것을 이 친구는 어디서 가지고 왔을까? [에너지가] 갇혀있어야 하는 거? 이걸 학생이 직접적으로 얘기는 안 했지만은 '뭔가가 저장되어야 이게 불이 켜질 수 있는 원동력이 생긴다.'라는 거 아녜요. (중략) 리모컨 배터리 같은 거, '배터리를 집어넣어줘야, 배터리가 고정되어 있어야 이제 작동을 한다.' 이런 식으로 뭔가 그 일을 할 수 있는 원동력을 가진 무언가를 그 안에 집어넣어서 저장을 해줘야 원활하게 작동이 일어난다라는 그런 경험적인 상황에서 이 포획모델을 만들어낸 것이 아닐까...

... (중략) ...

- 2 C 지금 학생들의 실제 설명하는 사례를 보니까 예전에는 '과학적 이론을 바탕으로 구체적 사례인 현상을 설명하기 위해 모델을 만든다'고 해석을 했는데, 지금 학생들의 이야기는 과학적인 이론이라는 걸 기반 해가지고 모델을 만든다는 느낌은 별로 없는 거 같고, 그래서 (중략) 전문과학자랑 초보자랑 모델 형성에 있어서 이론 기반의 특성이 차이가 날 수 있겠다.
- 3 B 이론은 전혀 안 들어갔죠?
- 4 C 저는 이 사례에서 '과학적 이론이라고 부를만한 게 뭐가 있을까?'라고 해봤는데 딱히 없는 것 같았어요.
- 5 B 전류는 흐른다!
- 6 C 전류는 흐른다?
- 7 B 흐른다는 이론이었어. 여기서는 모든 과정에 깔려있는 것 같았어.

위의 두 토의(장면 #7, #8)의 공통점은 학생들의 모델링이 이론(1)에 기반한다고 말할 수 없지만 그렇다고 이론(2)과 무관하다고 할 수도 없는 모호함에 관해 논의했다는 것이다. 앞 문장의 (1)에 해당하는 이론은 과학적이고 공식적인 것을 의미하는 한편, (2)의 이론은 경험적으로 형성된 직관적인 바탕 이론을 의미한다. 따라서 학생들의 모델링은 공식적인 과학적 이론(1)은 부재하지만, 경험적인 바탕 이론(2)은 연관된다고 본 것이다. 즉, 학생들의 모델링은 과학적 이론과 무관하게 작동하는 것처럼 보이지만 학생들의 모델링에 과학적 이론이 가시적으로 등장하거나 과학적 언어로 표현되지 않더라도 이론이 배태되어 있다고 보았는데, 이때 이론은 과학적 이론이 아닌 바탕이론으로 보아야 한다는 것이다. 즉, 학생들의 모델링에는 경험적 지식(틀)이 토대가 되기 때문에, 그 경험적 지식(틀)을 바탕 이론의 성격을 갖는 것으로 볼 수 있다.

1) 바탕이론(관념)은 우리가 경험을 일반화하는 과정에서 자기도 모르게 형성되어 Kant가 말하는 이른바 '직관의 형식'이란 이름으로 우리의 사고를 지배한다(장희익, 2019). 유사한 맥락으로 과학철학자 Hacking(1983)은 과학 활동의 한 가지 구도, 즉 사변(speculation)을 언급하면서 현상을 이해하기 위한 온갖 종류의 쓸데없는 말과 생각들의 중요성을 강조하기도 하였다. 본 논문에서 바탕이론은 모델링이 이루어지는 특정 시점에서 혹은 맥락에서 명시적 언어로 활성화되기도 하고 혹은 비활성화되지만 직관적으로 은유를 발생시키기도 하는 일관성 있고(consistency) 일반화된(generalized) 토대를 의미하는 용어로 사용되었다.

학생의 모델링에서 연관된 바탕이론은 과학자의 모델링에도 그대로 적용된다. 과학자들이 설명을 고안하고자 하는 현상은 사실 법칙 혹은 단순한 논리적 관계만으로 설명하기에는 너무나 복잡하며, 때로는 설명에 사용되어야 할 이론이나 법칙이 과학에서 부재하는 경우가 존재한다(Bailer-Jones, 2009; Bokulich, 2017; Gelfert, 2016). 그런 경우에 모델러로서 과학자는 가용할 수 있는 다양한 자원을 활성화하여 모델링하면서 문제 상황이 되는 현상을 설명하려고 노력한다. 모델링에 직접 연관되는 이론이 부재한 경우에도 과학자들은 현상을 이해하기 위한 온갖 종류의 사변을 활성화시키면서 활동을 수행하는 것이다. 즉, 과학적 이론은 부재하지만 온갖 종류의 사변에 해당하는 바탕 이론은 늘 연관되고 활성화된다.

토의의 궤적을 따라가 보면, 연구 참여자들은 초기에 과학적으로 잘 정립된 이론에서만 모델이 연역될 수 있는 것으로 간주하였다. 그러나, 토의가 진행되면서 과학자 실험 활동 혹은 학생의 모델링 사례를 통해 과학적 언어로 표현되지 않더라도 경험적 지식이 토대가 되는 바탕이론이 연관된다는 방식으로 모델링을 고려하게 되었다. 구체적으로 제시된 과학자의 실험에서 작동하는 모델링이 늘 연역적인 것만은 아니며, 다양한 기호학적 자원을 선택하고 배제하는 등의 조합이 공식적인 과학 이론과 무관하게 이루어지기도 한다는 점에 연구 참여자들은 주목했다. 이와 유사하게, 과학적 이론을 명시적으로 제시하지 않은 채 학생들의 모델링은 작동하며, 이때 경험적 차원의 바탕이론이 연관된다는 점에도 주목했다. 이 토의 내용은 이론에 기반하지 않은 모델링의 가능성에 힘을 실어 주는데, 이때 이론은 명시적인 과학적 이론을 의미한다. 거꾸로 말하면, 과학자나 학생들은 모델링을 할 때 늘 이론에 기반하는데, 이때 이론은 경험적이고 직관적인 차원의 바탕이론을 의미한다. 연구 참여자들의 토의는 과학자 실험 활동 혹은 학생들의 모델링이 명시적인 과학적 이론에 기반하지 않을 수 있으며, 그럼에도 불구하고 바탕이론은 늘 연관되어 있는 것으로 마무리되었다.

정리하면, 이론에 기반하지 않은 모델링이 가능한가에 대해서는 두 가지 답변이 가능하다. 첫째, 이론을 명시적인 과학적 이론으로 본다면 이론에 기반하지 않은 모델링이 가능하다. 둘째, 이론을 바탕이론으로 확장해서 본다면 이론에 기반하지 않은 모델

링은 가능하지 않다고 하겠다. 이와 같은 토의 내용은 FGD에서 연구 참여자들이 모델의 의미를 이론과의 관계로 상세하게 탐색하던 중, 모델이 이론에 기반하는가 아닌가의 논제를 다루는 과정에서 다시 ‘이론’이 무엇인지에 대한 논제로 회귀하면서 이루어졌다. 긴 토의의 끝에 연구 참여자들은 이론의 스펙트럼은 명시적인 과학적 이론으로부터 경험적 지식(들)을 포괄하여 직관적으로 작동하는 바탕이론을 포괄하는 것으로 그 의미를 확장하게 된 것이다. 즉, 이론은 공식적인 과학적 이론에 한정되는 것이 아니라, 개인의 경험을 토대로 일관성 있게 형성된 바탕이론의 차원을 포괄하는 의미를 갖는다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 과학교육 연구자 5인으로 구성된 FGD를 활용하여 모델 및 모델링에 관한 의미를 토의하는 과정에서 주요 주제로 다루어진 ‘모델과 이론의 관계’를 탐색하였다. 7회 수행된 FGD는 ‘모델링은 무엇인가?’라는 질문을 출발로 하여 전개되었다. 토의 과정에서 이론과의 관계를 중심으로 모델 및 모델링에 관한 몇 가지 주요한 논제가 제기되었고, 본 연구는 그 논제를 중심으로 전개된 상호작용적 흐름을 추적하였다.

토의 내용은 크게 세 가지 논제, ‘모델 혹은 모델링은 무엇인가?’, ‘모델과 이론의 관계는 어떠한가?’, ‘이론에 기반하지 않은 모델링은 가능한가?’로 정리할 수 있었다. FGD에 참여한 과학교육 연구자들의 모델에 대한 초기 정의는 매우 다의적이었고, 논제는 모델과 모델링의 의미를 규명하는 데 집중되었다. 그러나 모델 및 모델링의 의미는 명쾌하게 정리되지 않았고 토의 과정에서 이론과의 관계로 지속적으로 불거졌으며, 비슷한 주제의 문제 제기가 7회의 토의 과정에서 매번 새롭게 등장하고 다루어지면서 그 의미가 작게 혹은 크게 어긋나기도 하였다. 구체적으로 모델과 이론은 귀납적 및 연역적 상호 관계, 다시 말해 모델이 구성되고 확립되면 이론이 되고 또 모델은 이론으로부터 나와 현상을 설명하는 것의 순환 관계로 자리매김하는 듯했다. 이때 모델은 구체적 상황들을 설명하면서 보편적 이론으로 나아가거나 혹은 구체적 현상에 이론을 적용하는 것으로 이해되었다. 하지만, 그 흐름을 깨는 몇 가지 발언들, 이를테면 “이론을 모를 때는 모델을 구성할 수 없는

건가?”, “[과학적 이론을 잘 모르는] 초등학생은 모델링을 못 하나?”, 혹은 “실험할 때는 이론 없이 모델만 이루어지는 것 같아요” 등의 발언들이 ‘모델-이론’의 ‘귀납-연역의 순환 관계’의 틀에 균열을 내었다. 더불어, 구체적 현상 혹은 문제 상황에 대한 설명을 모델링하는 학생들의 사례는 공식적 이론보다는 개인적이고 경험적인 바탕이론과 은유 및 비유로 구성되어 인식론적 차원을 넘어 존재론적 차원에서 모델의 성격과 위상이 탐색되었다. 또, 모델의 성격이 과학자의 활동과 학생의 활동에서 동일하게 볼 수 있는가의 논제도 다루어졌는데, 이를테면 학생의 모델링은 과학자의 모델링과 다른 예외로 취급해야 하는지 혹은 학생들도 모델을 구성한다면 모델링 과정에서 작동하는 경험적 지식의 틀을 이론으로 보아야 하는지에 대한 논제가 제기되기도 하였다.

이 연구에서 주목한 것은 FGD에서 연구 참여자들의 이론과 모델의 관계에 대한 토의가 한두 개의 문장으로 끝날까 어려우며, 토의 과정에서 여러 논제들이 새로 불거져 나오는 상황은 그 논제에 대한 기존의 개념을 탈바꿈하고 새로운 이해를 추구하는 시도로 이어졌다는 점에 있다. ‘이론에 기반하지 않은 모델링은 가능한가?’ 혹은 ‘과학자의 모델링과 학생의 모델링은 어떤 차이가 있는가?’ 등의 질문이 ‘모델-이론’의 ‘귀납-연역의 순환’ 관계를 넘어서 모델과 이론을 재고하도록 토론을 열었다. 때로 예기치 못한 논제가 새롭게 제기됨에 따라 일부 적실한 결론에도 도달하지 못하고 질문을 남긴 채 토의가 종결되었지만, 그럼에도 불구하고 우리는 모델과 모델링, 그리고 모델과 이론의 관계에 대한 몇 가지 중요한 이해의 실마리를 얻었고, 따라서 그와 연관된 과학철학과 과학교육적 함의와 과학교육 연구자와 교사를 위한 함의를 제시하고자 한다.

1. 과학철학과 과학교육에의 함의

과학교육에서 모델 및 모델링의 강조는 매우 실용적 차원에서 이루어진다. 과학자의 실행과 유사한 활동으로써 모델링 활동은 그 과정에서 나타나는 사회적 상호작용, 문화, 그리고 학습자의 능동성을 강조한다(Gilbert, 2004; NGSS, 2013; NRC, 2012; Windschitl *et al.*, 2008). 모델 및 모델링의 강조는 기존의 과학교육이 객관성 또는 진리를 강조한 나머지 과학의 본성을 반영하지 못하였다는 반성에서 출발한 것이라 할 수 있지만, 학생들에게 과학적 지식을

전달해야 한다는 학교 교육의 특수성 때문에 학교 현장에서는 모델 및 모델링 활동을 통해 과학적 지식 혹은 이론의 증진이라는 가시적인 결과물 또한 필연적으로 요구된다. 이러한 교육적 특수성은 모델 및 모델링 활동이 과학자의 활동과 다르게 이론이 중심이 되게 하며, 모델의 본성과 달리 제한된 인식을 하게 된다(구미례와 오필석, 2014; 조은진 등, 2017). 따라서 모델 및 모델링 중심의 교육적 실천이 그 중심을 잃지 않기 위해서는 끊임없이 ‘모델이 무엇이며 과학교육에서 왜 중요한가?’라는 질문을 해야 한다.

‘모델이 무엇인가?’라는 질문은 과학철학 영역에서 중요하게 제기되어 왔고, 과학자가 하는 활동이 모델링(모델 구성)이라는 특징이 부각되면서 모델의 위상에 큰 변화를 가져왔다. 최근 과학철학에서는 van Fraassen, Suppe, Giere 등의 학자를 중심으로 한 ‘모델-기반 관점(Model-Based View: MBV)’이 영향력 있는 견해로 받아들여지고 있다(이종봉, 2018; Morgan & Morrison, 1999). 이는 기본적으로, 과학의 본질이 ‘모델’이라는 개념을 바탕으로 바라볼 때 더욱 잘 이해될 수 있다는 입장이며, 이러한 과학철학적 관점과의 연관성 속에서 모델을 주제로 한 과학교육 연구들이 활발하게 이루어지고 있다(예, 이종봉, 2018; Aduriz-Bravo, 2013; Gilbert, 2004; Koponen & Tala, 2014; Passmore *et al.*, 2014).

과학교육에서 모델은 과학적 지식의 획득 및 구성에 필수적이라는 것과 대부분의 모델이 어떤 식으로든 목표 대상으로서의 사물, 현상/사건, 과정, 시스템을 나타낸다는 것이 일반적으로 받아들여진다(Gilbert & Boulter, 2000). MBV는 과학교육에서 모델의 목적, 기능과 역할, 변화 등에 대한 교육적 가치를 넘어서 이론/지식을 보는 관점과 밀접히 연관된다. 이론을 명제들의 집합으로 보았던 논리 실증주의와 달리, 모델을 통해 이론이 의미를 갖는다는 인지과학자들의 관점을 갖게 되었다. 여전히 논쟁의 여지가 있지만 이론의 의미론적 관점은 현재 과학교육에서 모델과 이론에 대한 지배적인 관점이다. 의미론적 관점은 두 가지 버전, 하나는 ‘동형사상(isomorphism)’의 개념에 기반하고 다른 하나는 ‘유사성(similarity)’에 기반한다(Frigg, 2006). 모델은 현상을 기술, 설명, 예측하면서 이론을 의미화하는 역할을 한다고 보았다. 보편성을 띠는 이론은 현상을 직접 설명하지 못하며 구체적 맥락에서의 현상을 설명하는 모델을 통해 의미가 생성되는 것이다. 이

때 이론은 실재와 동형이상 혹은 유사성으로 여겨지는 실재론적 관점에 놓여 있으며, 모델은 이론과 현상 등의 목표 대상을 연결하는 ‘다리’ 또는 매개자 역할을 한다고 이해된다. 과학교육에서 모델과 이론의 관계는 이와 같은 방식으로 수용되었는데, FGD에서 탐색된 ‘모델-이론의 귀납-연역의 순환’ 관계와 매우 유사한 방식이다.

FGD에서 토의된 모델과 이론의 관계를 살펴보면, 1) 모델이 이론 연역적이고, 모델링이 이론을 현상에 적용하는 것으로 이해되는가, 2) 모델이 이론으로 귀납되는 것으로 이해되는가, 3) 모델링이 바탕 이론(경험적 지식의 틀)을 기반으로 출발하거나 혹은 바탕이론이 명시적으로 드러나지 않은 채 여러 가지 다른 자원들의 연결로 이해되는가 등이다. 각 관계에 따른 모델의 위상은 이론에 의존하거나, 현상으로부터 이론으로 귀납되거나, 이론에 기반하지 않는가로 나뉜다. 앞의 1)과 2)는 ‘모델-이론’의 ‘귀납-연역적’ 관계를 함의하는데, 모델들의 구안과 검토를 통해 이론의 구축으로 이어지고 또 역방향의 가능성을 포괄하는 관계를 전제한다. 더 나아가 모델과 이론의 다층적 관계를 논의할 것이 요구되는데, 모델-이론의 귀납-연역적 관계가 포괄하지 못하는 3)의 ‘이론에 기반하지 않는 모델링’의 가능성이 그 예가 된다. ‘이론에 기반하지 않은’ 혹은 ‘이론으로부터 자율적인’ 모델링의 가능성은 FGD의 연구 참여자들이 제기한 것으로, 생물 영역에서 이루어지는 여러 실험의 사례로부터 촉발되었다. 실제 실험 과학은 목적과 방법, 그리고 도구에 따라 다르지만 이론을 예측하기 위해 모델을 사용하기 보다는 이론과 별개로 특정 현상을 설명하기 위해 모델을 만들어내는 경우가 왕왕 있다(Bailer-Jones, 2003; Bokulich, 2011). 그러한 경우, 모델의 창출은 바탕이론이 전면에 등장하지 않거나 과학적 이론이나 법칙에서 연역되지 않고 창조적으로 만들어지며 기존에 구축되어 있는 모델의 사용과는 다른 층위를 갖는다.

토의에서 다루어진 것처럼, 이론에 기반하지 않은 모델링의 가능성은 더 나아가 이론의 성격과 위상에 대한 재고를 요구했다. 모델과 이론이 귀납 혹은 연역적 관계로 정착된다면, 이론이 포착하지 못하는 현상을 예측하거나 설명을 구하는 모델의 창조적 기능은 해명하기 어렵다. 그렇다고 바탕이 되는 이론이 전무한 상태에서 모델링이 작동하는 것으로 보기도 어려우며, 모델러의 인식론적이고 존재

론적인 바탕이론이 다양한 기호학적 자원으로 활성화되면서 모델링되는 것으로 볼 수 있다. 이때 이론은 공식적인 것, 다시 말해 언어화되고 명제적인 것으로부터 비공식적인 것, 즉 암묵적이고 직관적 형식의 바탕이론까지 그 스펙트럼을 넓혀야 할 것이다(이혜경 등, 2023). 비디오 클립에 등장했던 학생들의 모델링에서 연구 참여자들이 목도한 것처럼 모델링에서 이론이 명시되지 않은 채 바탕이론의 위치로 자리하고 있다는 점은 바탕 이론이 모델링에서 참조되는 구성요소의 하나로 보아야 한다는 점을 시사한다. 모델링은 명시적 이론뿐 아니라 인식론적으로 확립되어 있지 않은 것들, 비합리적 비유나 은유 등도 활성화하기 때문이다.

모델링은 과학적 활동이 이루어지는 맥락에서 중요성이 드러나는데, 모델이 지식의 획득 및 구성에서 필수적인 역할을 수행한다. 모델링은 전형적인/공식적인 모델을 사용하여 지식/이론을 확립하기도 하고, 혹은 새로운 방식의 모델링을 통해 모델을 구성하기도 한다. 전자는 과학사에서 쉽게 찾아볼 수 있으며 현재 교육과정이나 교사들이 사용하는 방식의 모델을 의미한다. 후자는 새로운 문제 제기에서 여러 가지 구성요소들과 방식들을 선택하고 조합하고 때로는 다른 영역으로부터의 유비나 은유를 통해 새로운 모델을 창출하는 과정을 말한다. 전자에서 지식은 개인적/공적인 지식을 획득하는 것으로 귀결되지만, 후자에서 지식은 모델러에게 있어서 일관성과 일반화를 갖는 바탕이론으로서 특정 모델링에 참조되는 구성요소로서 작동한다. 따라서 학생의 모델링과 과학자의 모델링은 이론과 귀납 및 연역적 순환 관계를 가질 뿐 아니라, 더 나아가 공식적 이론에 기반하지 않고 경험적이고 암묵적 차원의 바탕이론을 토대로 한 모델링으로서의 위상은 다층적인 반면 그 성격은 동일하다고 할 수 있다.

이상의 모델과 이론의 관계에 대한 토의를 토대로, 과학 교수학습 관점에서 모델링은 전형적인/공식적인 모델의 사용과 더불어 새로운 모델의 창출을 포괄하는 것으로 구분될 수 있다. 전형적인/공식적인 모델의 사용은 과학교육과정에서 채택된 것으로 학생들은 모델을 사용하여 현상과 이론을 매개하고 그 모델의 구조와 가치를 이해할 수 있다. 모델의 사용은 모델-이론의 귀납 및 연역적 순환 관계와 잘 맞아 떨어지며 학생들은 잘 구조화된 모델을 활용하는 것을 의미한다. 또한, 모델의 창출은 학생

들이 모델러로서 전형적이지 않은 새로운 현상을 설명하기 위한 적극적인 시도인 모델링을 하는 과정에서 드러나는 것으로 그 과정에 참여하는 것이 학습이 된다. 이때 모델링은 새로운 구조와 다양한 자원들의 관계를 만드는 과정으로 매우 창의적인 속성을 갖는다. 모델은 맥락적이고 구체적인 현상을 설명하기 위해 일부 단순화/추상화하기 위해, 닫혀 있으면서 동시에 열린 구조로서 모델러의 목적과 의도에 맞으면 비합리적인 요소들도 포함하여 세계를 이해하기 위해 작동한다. 따라서 모델링 중심의 과학 교수학습은 모델의 사용뿐 아니라 모델의 창출에 관심을 기울여야 하며, 모델의 창출이 목표 모델로 가는 것이 아니라 언어 및 비언어적 자원을 활용 및 조합하여 새로운 이해를 제공한다는 교육적 가치를 생성해야 할 것이다.

공식적인 과학 이론에 기반하지 않은(그럼에도, 바탕 이론은 배태되어 있음) 모델링은 모델이 자율적으로 기능한다는 제안(예, Cartwright, 1983; Frigg & Hartmann, 2009; Morgan & Morrison, 1999)과 일맥상통한다. 실제 물리학자들이 모델을 다루는 방식을 살펴보면, 하나의 이론 안에서 서로 모순되는 수많은 모델을 사용할 뿐 아니라 현상을 더 잘 설명해주는 모델을 만들기 위해서 모델을 폐기하는 것이 아니라 오히려 이론을 폐기하는 경우를 종종 살펴볼 수 있다(Cartwright, 1983). 즉, 모델은 이론과 실세계 모두로부터 부분적으로 독립되어 있다고 할 수 있는데, 모델이 데이터나 이론에서 완전히 파생되지 않기 때문이다(Gilbert & Justi, 2016). 모델링에는 데이터와 이론이 모두 관련될 뿐만 아니라 다른 요소들(예, 바탕 이론, 유비, 은유, 수학 방정식, 수학 테크닉)도 포함된다(이해경 등, 2023; Frigg & Hartmann, 2009; Morgan & Morrison, 1999). 이러한 모델링의 자율성에 교육적 가치를 부여하면, 모델링 과정에서 드러나고 사라지며 결정되는 특정 구조로서 모델이 자리매김하게 되고 학습자의 모델링 참여에서 드러나는 세세한 흐름은 다각적이고 개별적인 배움의 과정이 된다. 특별히 초등교육을 포함한 과학교육에서는 앞서 언급한 바탕 이론, 유비, 은유 등의 자원들을 동원하여 그림으로 표현하기, 과학적 글쓰기 등과 같은 표현적 모델링(expressive modeling) 활동이 이미 수행되고 있다(석운수와 윤혜경, 2022; 유연준과 오필석, 2016; 장진아 등, 2023). 그러나 예비 초등교사들이 생각하는 모델에 대한 인식을 살펴보았을

때, 초등 예비교사들이 생각하는 모델의 의미가 물리적 실재를 대변하거나 이론을 이해시키기 위한 연역적 모델의 의미로 대부분 귀결되는 것을 알 수 있다(오필석, 2009). 따라서 모델링 과정에서 이론을 포함한 다양한 요소들을 활용하여 물리적 또는 연역적 모델만을 구성하는 것이 아니라 학습자의 언어 및 비언어적인 자원들이 동원되고 활성화되는 맥락적 과정 그 자체로 이해할 필요성이 본 연구의 논제와 마찬가지로 제기된다. 즉, 학습자는 단지 목표 모델(target model)만을 획득하는 것이 아니라 모델을 만들어가는 과정에서 자신이 지닌 자원들을 묶고 풀고 엮고 다른 영역에서 유비와 은유를 참조하여 새로운 모델을 창출하는 창의적 능력을 발휘할 수 있으며, 따라서 그 자원들을 엮어 배치하는 활동을 열어가는 것, 그것이 곧 학습이며 과학적 실행(practice)이 될 것이다.

2. 과학교육 연구자와 과학교사 교육에의 함의

과학교육에서 모델 및 모델링의 강조는 과학교육 연구자와 과학교사에게 모델 및 모델링의 성격에 대한 적실한 인식을 요구한다. 과학교육 연구자는 과학교육학의 지식 생성과 교육적 실천(교수학습 및 교사교육)의 새로운 장을 열고 교육실천가와 협력 및 지원하기 위해, 모델 및 모델링 중심의 과학교육적 의미와 실제에 대한 비평적 관점과 열린 태도를 가져야 한다. 그 과정은 실로 지난하고 느리고 힘겹고 실패를 담보하는 일이라, 초보 연구자는 연구 출발점에서 주요 연구 주제에 관한 지배적인 담론과 정의, 및 개념들을 의심 없이 취할 것이 권장된다. 이것은 매우 당연한 과정이기도 한데, 초보 연구자들은 연구 공동체가 생성한 지식과 방법론을 밑천으로 자신의 연구라는 여정을 떠나는 것이기 때문이다. 다른 한편 그것은 위험하기도 한데, 연구 주제나 방법론이 늘 충분하지만은 않기 때문에 연구의 한계라는 문을 열어두지만 한계가 아니라 연구와 관련된 매우 중요한 문제가 될 수 있기 때문이다.

모델 및 모델링 중심의 과학교육 연구를 시작할 때, 연구자는 폭넓은 문헌 리뷰를 통해 모델 및 모델링에 관한 다양한 관점을 탐색한 후 주류의 관점을 포착하고 수용하게 된다. 현재적 시점에서 보면, 과학철학의 흐름에 기대어 모델 및 모델링에 대한 구분론적 관점을 비판하고 MBV 혹은 의미론적 관점을 수용하며, MBV를 토대로 모델과 이론의 관계

를 규정하고 교육적 실천을 논하는 것이 일반적이다. MBV 혹은 의미론적 관점에서 모델과 이론의 관계는 논쟁의 대상이 아니며, 대체로 모델을 과학 이론의 하위 집합, 즉 이론을 모델들과 가설들의 집합을 분다(Giere *et al.*, 2006; Nersessian, 1999; Oh & Oh, 2011; Windschitl & Thompson, 2006). 이때 모델은 일종의 구조이며(Frigg, 2006), 이론과 현상을 연결하는 ‘다리’ 혹은 ‘매개자’로 간주된다(Oh & Oh, 2011).

하지만, MBV 혹은 의미론적 관점에서 모델을 이론의 하위 집합으로 보는 것에 대해 ‘과연 그런가’라는 의심을 품고 본 연구는 시작되었다. 모델과 이론의 경계가 불분명하고, 모델과 이론이 중첩되는 관계에 있다는 것을 참작하더라도 모델과 이론의 관계를 다각적으로 탐색할 필요가 있었다. 이 필요성은 구체적인 토의 질문을 특정하지 못하고 ‘모델링이란 무엇인가’로 출발한 끝없는 토의를 이끌었다. 7회 수행된 FGD에서 과학교육 연구자로서 참여자들은 모델을 이론의 하위 집합으로 보는 의미론적 관점에 대해 명시적으로 토의하지는 않았지만, 모델-이론의 귀납-연역의 순환 관계와 더불어 이론에 기반하지 않은 모델링의 가능성을 타진하였다. 더 나아가 이론에 기반하지 않는 모델링의 경우에도 명시적으로 드러나지 않지만 바탕이론이 작동하는 것도 토의되었다. 즉, 모델과 이론의 관계가 단지 의미론적으로 규정되지 않으며, 더 나아가 모델과 이론의 다층적인 속성을 파악하였다. 이러한 토의 내용은 연구 참여자들 간에 허용적이고 비평가적 방식으로 이루어진 FGD의 결과이며, 이 과정은 특정 전문가 공동체가 실천과 관련된 주요 주제를 다루는 데 매우 유의미하다고 볼 수 있다. 즉, 과학교육 연구자가 특정 주제에 대한 연구를 진행할 때 그 주제와 관련된 연구자 집단의 인식과 문제제기, 그리고 새로운 의견을 자유롭게 다루는 과정은 새로운 실천을 지향하는 실행 공동체의 핵심이라 하겠다.

연구자와 마찬가지로, 교사는 일종의 ‘공동 생산 활동(joint production activity)’(Tharp & Gallimore, 1988)이라고 볼 수 있는 대화에 참여함으로써 전문적 능력을 발전시켜 나간다. 즉 실행공동체를 형성하여 수업 실행의 결과라든가 수업 상황 등에 대해서도 질문을 던지고 의견을 나눔으로써 주제에 대한 이해를 쌓아나갈 수 있으며, 또한 대화를 통해 드러난 아이디어나 문제를 변형시키면서 생각을 조직할 수 있다(김혜리 등, 2010). 모델 및 모델링에 관

한 교육적 실천을 위해서는 모델과 모델링의 성격에 대한 명확한 이해가 필요한데(Oh & Oh, 2011), 교사의 모델에 대한 인식은 복잡하고 때로는 일관성이 없으며 지식, 신념 및 경험에 따라 수업에서 모델을 사용하는 데 서로 다른 접근 방식을 채택하는 것으로 나타났다(Henze *et al.*, 2007; Justi & Gilbert, 2003; van Driel & Verloop, 2002). 모델 및 모델링 중심 과학교육 연구 및 교육적 실천을 위해서는 연구자와 교사로 구성된 실행 공동체가 함께 FGD를 수행하여 그들의 생각을 펼치고 개진하는 과정을 거치는 등의 충분한 준비가 필요하다. FGD의 참여는 모델 및 모델링 중심의 과학 교수학습과 관련된 다양한 개념적 및 실천적 문제를 제기 및 해결하고, 다양한 논제를 풀어갈 수 있는 기회를 갖게 되는 것이다. 모델 및 모델링 중심의 과학 교수학습이 모델의 사용을 넘어 모델의 창출을 추구한다면, 현재 지배적인 관점과 교수학습 전략을 그대로 수용하기보다는 문헌에서 제공되는 정보와 더불어 모델링 중심 교수학습의 모델링을 먼저 실행해야 할 것이다. 그 단계를 충분히 통과할 때 교사-연구자의 모델 및 모델링에 관한 역동적이고 창의적인 속성에 대한 이해가 체화되고 인식론적으로 정합적인 교육적 실천으로 이어지게 될 것이다.

참고문헌

- 고민석, 양일호(2013). 과학적 문제해결을 위한 소집단 논의 과정에서 나타난 비유적 추론의 생성 수준과 설명적 모델 생성의 관계 분석. *한국과학교육학회지*, 33(2), 522-537.
- 구미례, 오필석(2014). 과학 모델에 관한 초등 교사들의 인식과 실행의 관계 분석. *교육논총*, 34(1), 1-17.
- 김영석(1999). *사회조사방법론*. 서울: 나남출판.
- 김지윤, 최승언, 김찬중(2016). 공동생성적 대화가 중학생의 과학적 모델에 관한 이해와 모델 구성에 미치는 영향. *한국지구과학회지*, 37(4), 243-268.
- 김진국, 남상준(2007). 좋은 지리수업에 대한 현장 지리교사들의 개념: 포커스 그룹(Focus Group) 논의를 중심으로. *한국지리환경교육학회지(구 지리환경교육)*, 15(2), 153-166.
- 김혜리, 이선경, 김찬중(2010). 교사 학습의 협력적 과정을 이해하기 위한 상황화된 담화 접근법과 분석 사례. *한국교원교육연구*, 27(3), 505-529.
- 석운수, 윤혜경(2022). 초등학생의 계절 변화 원인에 관한 지구본 활용 모델링 분석. *초등과학교육*, 41(4), 673-

- 689.
- 송진용, 강석진, 박영순, 김동건, 김수환, 나지연, 도종훈, 민병곤, 박성춘, 배성문, 손연아, 손정우, 오필석, 이준기, 이현정, 임혁, 정대홍, 정중훈, 김진희, 정용재(2019). 미래세대를 위한 ‘과학교육표준’의 주요 내용과 특징. 한국과학교육학회지, 39(3), 465-478.
- 심수연(2020). 교사학습공동체에 참여한 한 고등학교 교사의 과학적 모델링에 대한 이해 및 수업 실행 변화 탐색 -프레임 분석을 중심으로. 한국과학교육학회지, 40(1), 29-40.
- 오필석(2017). 분산 인지의 관점에 따른 모델링 중심 초등 과학 수업의 해석. 초등과학교육, 36(1), 16-30.
- 오필석(2009). 과학과 과학 교육에서 사용되는 모델에 관한 예비 초등 교사들의 인식. 초등과학교육, 28(4), 450-466.
- 유연준, 오필석(2016). 초등학생들의 계절의 변화 단원의 학습에서 모델링 중심 과학 탐구 수업의 효과. 초등과학교육, 35(2), 265-276.
- 유희원, 차현정, 김민석, 함동철, 김희백, 유준희, 박현주, 김찬중, 최승언(2012). 과학적 모형의 사회적 공동구성 수업에서 나타나는 과학 영재 학생들의 상호작용 역할과 개인의 내적, 관계적 요인 사이의 관련성. 영재교육연구, 22(2), 265-290.
- 윤혜경(2011). 초등 예비교사의 자기 모델 탐구 과정과 과학적 모델에 대한 이해 변화. 초등과학교육, 30(3), 353-366.
- 이가옥, 장묘옥(1993). 주제별 집단토의 방법론(Focus Group Discussion). 보건사회논집, 13(1), 84-98.
- 이선경(2015). 과학학습 개념변화. 서울대학교출판문화원.
- 이선경, 황세영(2012). 과학교육에서 융복합 교육에 대한 교사의 인식과 경험 탐색: 과학교사 포커스 그룹 논의를 중심으로. 한국과학교육학회지, 32(5), 974-990.
- 이신영, 김찬중, 최승언, 유준희, 박현주, 강은희, 김희백(2012). 소집단 상호작용에 따른 심장 내 혈액 흐름에 대한 소집단 모델 발달 유형과 추론 과정 탐색. 한국과학교육학회지, 32(5), 805-822.
- 이조은(2020). 유아교육에서 교육생태계에 대한 개념 찾아가기: 포커스 그룹 논의를 중심으로. 생태유아교육연구, 19(3), 195-218.
- 이종봉(2018). 과학교육에서의 지식 개념에 대한 비판적 검토: Giere의 모형 기반 과학철학을 중심으로. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 이차은, 김희백(2016). 과학적 모형 구성 과정에서 나타난 사고 질문의 개념적 자원 활성화의 이해: 인식론적 프레임과 위치 짓기 프레임 중심. 한국과학교육학회지, 36(3), 471-483.
- 이혜경, 이종혁, 최진현, 김관영, 이선경(2023). 실행-중심 과학교육을 위한 지식관의 재고와 과학적 모델링의 연관성. 초등과학교육, 42(2), 343-366.
- 장진아, 박준형, 박지선(2023). 공기 압력에 대한 초등영재 학생들의 과학그리기 및 과학글쓰기에서 구성된 과학적 설명과 어포던스 분석: 다중모드적 표상의 교육적 활용. 초등과학교육, 42(1), 161-177.
- 장희익(2019). 장희익의 자연철학 강의. 서울: 추수밭.
- 정용욱(2014). 법칙, 이론, 그리고 원리: 규범적 의미와 실제 사용에서의 혼란. 한국과학교육학회지, 34(5), 459-468.
- 정용재(2020). ‘설다’와 ‘익다’의 너나들이: 이종네트워크로서 과학학습. 한국과학교육학회지, 40(6), 631-648.
- 조은진, 김찬중, 최승언(2017). 과학적 모델과 모델링에 대한 중등 과학 교사의 인식 탐색. 한국과학교육학회지, 37(5), 859-877.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A ‘semantic’ view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22, 1593-1611.
- Aurigemma, J., Chandrasekharan, S., Nersessian, N. J. & Newstetter, W. (2013). Turning experiments into objects: The cognitive processes involved in the design of a lab-on-a-chip device. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 117-140.
- Bailer-Jones, D. M. (2003). Models, theories and phenomena. *Proceedings of Logic Methodology and Philosophy of Science*.
- Bailer-Jones, D. M. (2009). *Scientific models in philosophy of science*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.
- Bokulich, A. (2011). How scientific models can explain. *Synthese*, 180, 33-45.
- Bokulich, A. (2017). Models and explanation. In L. Magnani, & T. W. Bertolotti (Eds.), *Handbook of model-based science* (pp. 103-118). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Cartwright, N. (1983). *How the laws of physics lie?* Oxford, UK: Clarendon.
- Chamizo, J. A. (2013). A new definition of models and modeling in chemistry’s teaching. *Science & Education*, 22, 1613-1632.
- Chandrasekharan, S., & Nersessian, N. J. (2015). Building cognition: The construction of computational representations for scientific discovery. *Cognitive Science*, 39, 1727-1763.
- Clement, J. J. (2008). Student/teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 11-22). Dordrecht, The Netherlands: Springer Science+Business Media.
- Frigg, R. (2006). Scientific representation and the semantic view of theories. *Theoria*, 55, 49-65.

- Frigg, R., & Hartmann, S. (2009). Models in science. In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford encyclopedia of philosophy*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Fontana, A., & Frey, H. J. (2005). The interview: From neutral stance to political involvement. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 695-728). Thousand Oaks, NJ: Sage Publications.
- Gelfert, A. (2016). *How to do science with models: A philosophical primer*. Cham, Switzerland: Springer.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Giere, R. N., Bickle, J., & Mauldin, R. F. (Eds.) (2006). *Understanding scientific reasoning* (5th ed.). Belmont, CA: Thomson Wadsworth.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education* (Vol. 9). Basel, Switzerland: Springer International Publishing.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (Eds.) (2000). *Developing models in science education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Franco, C. (2000). Science and education: Notions of reality, theory and model. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 19-40). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gobert, J. D., & Pallant, A. (2004). Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 7-22.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modeling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Hacking, I. (1983). *Representing & intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge university press.
- Halloun, I. A. (2006). *Modeling theory in science education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. (1997). *Minds of our own: Can we believe our eyes?* Annenberg Foundation.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454.
- Henze, I., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2007). Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science. *Research in Science Education*, 37, 99-122.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Koponen, I. T., & Tala, S. (2014). Generative modelling in physics and in physics education: From aspects of research practices to suggestions for education. In M. R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1143-1169). Dordrecht, The Netherlands: Springer Science+ Business Media.
- Liu, Z., Nersessian, N. J., & Stasko, J. T. (2008). Distributed cognition as a theoretical framework for information visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6), 1173-1180.
- Lehrer, R., Schauble, L., & Lucas, D. (2008). Supporting development of the epistemology of inquiry. *Cognitive Development*, 23, 512-520.
- Lopes, J. B., & Costa, N. (2007). The evaluation of modelling competences: Difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education*, 29(7), 811-851.
- Morgan, M., & Morrison, M. (Eds.). (1999). *Models as mediators: Perspectives on natural and social science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Nagel, E. (1961). *The structure of science: Problems in the logic of scientific explanation*. New York, NY: Harcourt, Brace & World, Inc.
- Nelson, M. M., & Davis, E. A. (2012). Preservice elementary teachers' evaluations of elementary students' scientific models: An aspect of pedagogical content knowledge for scientific modeling. *International Journal of Science Education*, 34(12), 1931-1959.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. In L. Magnani, N. J. Nersessian, & P. Thagard (Eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 5-22). New York, NY: Springer Science+ Business Media.
- Nersessian, N. J. (2006). Model-based reasoning in distributed cognitive systems. *Philosophy of Science*, 73, 699-709.
- Nersessian, N. J. (2008). *Creating scientific concepts*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Nersessian, N. J., & Patton, C. (2009). Model-based reasoning in interdisciplinary engineering. In A. W. M. Meijers, D. M. Gabbay, P. Thagard, J. Woods (Eds.), *Philosophy of technology and engineering sciences* (pp. 678-718). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

- National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington, DC: The National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards: For states, by states. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Passmore, C., Gouvea, J. S., & Giere, R. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. In M. R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1171-1202). Dordrecht, The Netherlands: Springer Science+Business Media.
- Passmore, C., Stewart, J., & Cartier, J. (2009). Model-based inquiry and school science: Creating connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394-402.
- Radinsky, J., Oliva, S., & Alamar, K. (2010). Camila, the earth, and the sun: Constructing an idea as shared intellectual property. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 619-642.
- Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Nunez-Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory. In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 23-43). Dordrecht, The Netherlands: Springer Science+Business Media.
- Pierson, A. E., & Clark, D. B. (2019). Sedimentation of modeling practices. *Science & Education*, 28, 897-925.
- Schwarz, C. V. (2009). Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. *Science Education*, 93(4), 720-744.
- Tharp, R. G., & Gallimore, R. (1988). *Rousing minds to life: Teaching, learning, and schooling in social context*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(2), 1255-1272.
- Windschitl, M., & Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigation: The impact of preservice instruction on teachers' understandings of model-based inquiry. *American Educational Research Journal*, 43(4), 783-835.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.

최진현, 서울대학교 대학원 학생(Jinhyeon Choi; Graduate Student, Seoul National University)

이종혁, 서울대학교 교육종합연구원 객원연구원(Jong-Hyeok Lee; Visiting Researcher, Center for Educational Research, Seoul National University)

이해경, 서울대학교 교육종합연구원 객원연구원(Hyekeoung Lee; Visiting Researcher, Center for Educational Research, Seoul National University)

유금복, 한국교육과정평가원 부연구위원(Kumbok, Ryu; Associate Research Fellow, Korea Institute for Curriculum and Evaluation)

김관영, 서울대학교 대학원 학생(Kwan-Young Kim; Graduate Student, Seoul National University)

전상학, 서울대학교 교수(Sang-Hak Jeon; Professor, Seoul National University)

† 이선경, 서울대학교 교육종합연구원 책임연구원(Sun-Kyung Lee; Principal Researcher, Center for Educational Research, Seoul National University)